

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Spolehlivost spínacích přístrojů nn
LV switching apparatus reliability

2010

Bc. Jakub Kopas

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektroniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kopas**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Spolehlivost spínacích přístrojů nn
LV switching apparatus reliability**

Zásady pro vypracování:

1. Definujte pojem spolehlivosti, a to se zaměřením na spínací přístroje nn - konkrétně stykače.
2. Realizujte výběr spolehlivostních parametrů a možnosti jejich sledování.
3. Na vybraném stykači realizujte a ověřte zvolenou zkušební metodu. Definujte podmínky a požadavky na objektivitu měření.
4. Proveďte rozbor dosažených výsledků a definujte požadavky pro praktické použití.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdenek Hytka, CSc.**

Datum zadání: 20.11. 2009
Datum odevzdání: 07.05. 2010

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání:

Podpis:_____

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za odborné rady při zpracování diplomové práce. Ing. Vladimíru Košíčkovi a Ing. Jiřímu Pleskačovi z ČEZ, Jaderné elektrárny Dukovany za poskytnutí stykačů a materiálů pro zpracování diplomové práce.

Klíčová slova

Spolehlivost, diagnostika, metody diagnostiky, stykač, použití stykačů, objektivita, jakost

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou spolehlivosti spínacích přístrojů nn – konkrétně stykačů a následné vytvoření metodiky a diagnostiky pro měření. V první části realizuji výběr spolehlivostních parametrů s možností jejich využití, kde je zmínka o stykačích a jejich typech. V druhé části se zabývám vlastním měřením stykačů, použitou metodou pro měření a její vyhodnocení. V poslední části jsou uvedena navržená a použitá schémata měření s jejich vlastními popisy.

Key words

Reliability, diagnostics, diagnostic methods, contactor, use of contactors, objectivity, quality

Abstract

This diploma thesis deals with the safety of switchgears – concretely the contactors and then the creation of methodology and diagnostics for measurement. In the first part I realize the selection of reliability parameters with the chance of their usage, where the contactors and the types of contactors are mentioned. In the second part I deal with the measurement of contactors, the method applied for measurement and its evaluation. In the last part there are mentioned the suggested and applied diagrams of measurement with their own descriptions.

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Název	Jednotka
I	Elektrický proud	(A)
I_e	Jmenovitý pracovní proud	(A)
I_n	Jmenovitý proud	(A)
I_{th}	Jmenovitý tepelný proud	(A)
P_p	Průměrný výkon	(W)
T	Teplota	(°C)
U	Elektrické napětí	(V)
U_i	Jmenovité izolační napětí	(V)
dU	Úbytek napětí	(V)
rH	Relativní vlhkost	(%)
Φ	Absolutní vlhkost	(Kg·m ⁻³)
CM	Sledování stavu (Condition Monitoring)	-
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany	-
HT	Pevné časové lhůty (Hard Time Limit)	-
OC	Podle stavu (On Condition)	-

Obsah

Úvod.....	1
1. Stykače	2
1. 1. Rozdělení stykačů dle použití	6
2. Pojetí spolehlivosti	7
2. 1. Spolehlivost – pojem, pojetí.....	7
2. 2. Definice jakosti	8
2. 3. Důležitost spolehlivosti	9
2. 4. Metody na dosažení spolehlivosti	9
2. 5. Měřítka spolehlivosti.....	11
2. 6. Obecné směrnice pro specifikace spolehlivosti.....	12
2. 7. Výrobní opatření působící na spolehlivost.....	13
2. 8. Proč je třeba získávat údaje o spolehlivosti.....	14
2. 9. Údaje o vlastní spolehlivosti výrobků	14
3. Objektivita a diagnostika.....	16
3. 1. Objektivita - Filozofie	16
3. 2. Výzkum	16
3. 3. Technická diagnostika.....	17
3. 4. Technický rozvoj a diagnostika.....	19
3. 5. Úlohy a formy diagnostiky - základní pojmy.....	23
3. 6. Objekt diagnostiky	23
3. 7. Diagnóza technického stavu.....	25
3. 8. Testování v reálném čase	28
3. 9. Diagnostické podmínky.....	29
3. 10. Diagnostické prostředky.....	30
3. 11. Funkční vazby diagnostiky.....	33
3. 12. Diagnostika a racionalizace údržby.....	34
3. 13. Klasický způsob údržby	37
3. 14. Progresivní způsob údržby	37
3. 15. Skladba progresivních programů údržby	38
3. 16. Sestavování programu plánované údržby.....	39
3. 17. Stanovení diagnostických intervalů.....	42

3. 18.	Organizační otázky.....	43
3. 19.	Ekonomické aspekty zavádění diagnostiky.....	43
4.	Spolehlivostní parametry při měření	48
4. 1.	Parametry stykačů	48
4. 2.	Výběr parametrů pro vlastní měření.....	51
4. 3.	Parametry laboratoře pro měření.....	51
4. 4.	Měření úbytků napětí na proudovodné dráze stykače a oteplení kontaktů.....	51
4. 5.	Měření vlastních časů stykačů.....	52
4. 6.	Teplota kontaktů a jejich vizuální kontrola.....	55
5.	Závěr	57
6.	Použitá literatura	
7.	Seznam příloh	

Úvod

V diplomové práci se zabývám problematikou spolehlivosti, určením jejích parametrů a následným vyhodnocením. Tento proces se zaobírá v elektroenergetice ve všech jejích odvětvích. Ze všech možných přístrojů, používaných v energetice, jsem si vybral stykač, jako jeden z nejpoužívanějších částí silových obvodů, ale i pro jeho široké uplatnění.

V první části mé diplomové práce se věnuji vlastním stykačům, jejich rozdělení, částečně jejich historií a možnostmi použití. Dále se také zabývám problematikou spolehlivosti, a to teoriím spolehlivosti a možnostmi jejího vyjádření.

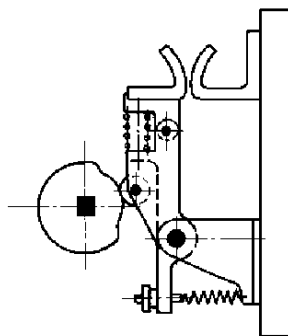
V další kapitole navazuji na problém spolehlivosti a určuji její metodiku měření a vyhodnocení. Zabývám se také objektivitou a technickou diagnostikou a jejím možným způsobem měření na stykačích.

Následně se věnuji vlastnímu měření a vyhodnocování naměřených hodnot. Pro dané měření jsem použil stykače z Jaderné elektrárny Dukovany, které věnovala společnost ČEZ. Naměřené průběhy s použitím přípravku na měření vlastních časů stykače jsou zdokumentovány v příloze.

Diplomová práce byla zpracovávána pro vytvoření ucelené představy o problematice spolehlivosti, následně s možnostmi zpracování do provozu.

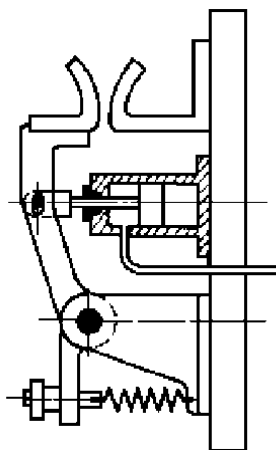
1. Stykače

Stykač je přístroj určený pro časté a převážně krátkodobé spínání motorů a jiných spotřebičů. Stykač má stabilní jen jednu polohu, zpravidla polohu vypnutou. Do druhé polohy se kontakty převádějí strojním mechanismem a setrvávají v ní, jen pokud tento mechanismus působí. Jakmile přestane působit, kontakty vrátí do výchozí klidové polohy vypínací pružina. Aby potřeba vratné síly byla co nejmenší, používají se výhradně kontakty s čelním stykem. [1]

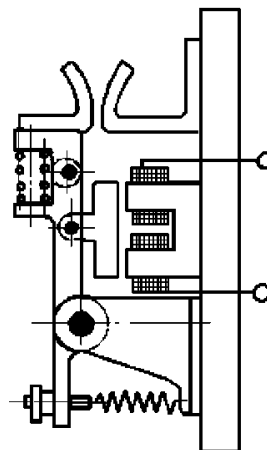


Obrázek 1. Princip vačkového stykače

Zapínací mechanismus stykače může být trojího druhu: vačkový, pneumatický nebo elektromagnetický. Uspořádání kontaktní soustavy vačkového stykače je na obr. 1. Pohyblivý kontakt je upevněn na jednom konci otočně uložené dvojramenné páky, tažené trvale pružinou do vypnuté polohy. Do zapnuté polohy se uvede otočením vačky, najíždějící na kladku kontaktní páky. Tlakovzdušný pohon stykače podle obr. 2. tvoří válec, jehož píst je spojen pístní tyčí s kontaktní



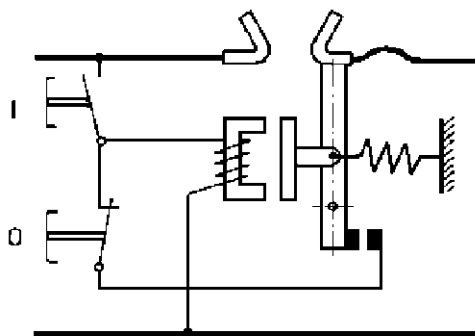
Obrázek 2. Stykač s tlakovzdušným ovládáním



Obrázek 3. Elektromagnetický stykač

pákou. Nad píst se zavede tlakový vzduch přívodním potrubím, ovládaným zapínacím ventilem, a píst se přesune do pracovní polohy. Uzavřeme-li přívod vzduchu, vzduch z prostoru nad pístem unikne výfukovým otvorem (umístěným ve ventilu) a pružina vrátí píst i kontakty do vypnuté polohy. [1]

Nejrozšířenější je provedení stykače s pohonem elektromagnetickým, naznačené schematicky na obr. 3. Ovládací elektromagnet může být na stejnosměrný nebo střídavý proud a může být napájen z pomocného zdroje nebo přímo ze sítě, k níž stykač připojuje spotřebič. Elektromagnetický stykač je vlastně relé, neboť pomocí malého proudu (malé energie) jím můžeme na dálku zapínat a vypínat mnohonásobně větší proudy, tj. ovládat mohutný tok energie. Pomocný obvod se spíná buď válcovým nebo vačkovým spínačem, nebo tlačítkovým ovladačem. Na rozdíl od otočných ovladačů je při použití tlačítka stykač zapnut jen tak dlouho, pokud obsluha působí silou na knoflík tlačítka. Aby bylo možné



Obrázek 4. Schéma zapojení elektromagnetického stykače

i krátkým impulsem provést dlouhodobé zapnutí stykače, je nutné použít dvojice tlačítek. Jedno tlačítko (s činnými kontakty) slouží jako zapínací, druhé (s klidovými kontakty) jako vypínací. Současně musí mít stykač vestavěn jeden pár činných pomocných kontaktů, které kopírují činnost hlavních kontaktů stykače. Názorné schéma zapojení takového ovládacího obvodu, napájeného z hlavní sítě, je na obr. 4. Stlačením zapínacího tlačítka se zavede proud do cívky elektromagnetu a zapnou se současně kontakty hlavní i pomocné. Pomocný kontakt přemostí zapínací tlačítko, takže i při krátkém impulsu přes zapínací tlačítko zůstane stykač trvale zapnut. Pomocný kontakt koná funkci samodržného kontaktu. Druhým, vypínacím tlačítkem, které je spojeno do série se samodržným kontaktem a obvod trvale propojuje, se opět i krátkým impulsem stykač vypne. Po přerušení proudu ve vinutí elektromagnetu kotva působením vypínací pružiny odpadne a vrátí hlavní i pomocný kontakt do vypnuté polohy.

[1]

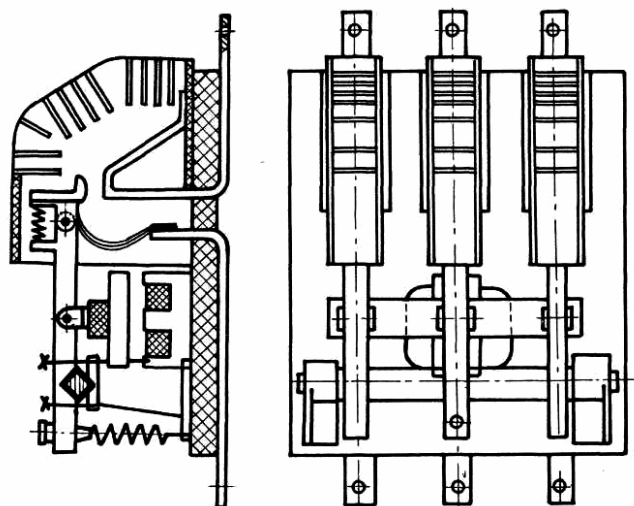
Stykače mívají nejen jeden, ale více párů pomocných kontaktů, které při funkci stykače propojují nebo rozpojují pomocné obvody ovládací, signalizační, blokovací apod. Nejčastěji bývají stykače vybaveny dvěma páry pomocných kontaktů zapínacích a dvěma páry kontaktů vypínacích pro celkem 4 ovládací obvody. Pomocné kontakty jsou podobně jako hlavní kontakty s čelním stykem, obvykle můstkové. Stykač je určen pro časté, ale spíše krátkodobé spínání provozních proudů. Počet spínacích cyklů za hodinu může dosahovat i čísla 1 000. S rostoucí hustotou spínání se zpravidla doba zapnutí zkracuje a naopak. Proto jsou na konstrukci stykače z hlediska životnosti, která bývá až několik milionů cyklů, kladeny velké požadavky. Následkem toho není principiálně správné (i když se tomu nelze někdy vyhnout) používat stykač v takových místech, kde bude spínat jen občas a kde bude doba zapnutí velmi dlouhá. Je to také záležitost spotřeby energie ovládací cívkou.

[1]

Protože stykače spínají převážně motorové obvody, musí být schopny zvládnout i menší nadproudy. Podle ČSN 354150 jsou ve střídavých obvodech nn největší zapínací proudy stykačů v rozmezí (6 až 12)násobku a největší vypínací v rozmezí (6 až 10)násobku jmenovitého proudu.

Ve stejnosměrných obvodech se pohybují zapínací i vypínací proudy v rozmezí (2,5 až 5)násobku jmenovitého proudu. Stykače se někdy doplňují časově závislou tepelnou spouští a pak vykonávají současně funkci jističe, ovšem jen do nadproudů uvedených dříve. Pro vypínání zkratu nelze stykače používat, neboť nejsou z hlediska kontaktní soustavy ani zhášedla pro taková namáhání dimenzována. Zkrat v obvodu musí vypnout pojistka zařazená se stykačem do série, popř. jistič. Kromě jmenovitého proudu se u stykačů setkáváme s pojmem pracovní proud. Pracovní proud se rovná nebo je menší než jmenovitý proud a jeho velikost určuje výrobce. Příčinou této zvláštnosti, vyskytující se jen u stykačů, je velikost rozběhového proudu elektrických strojů, která je několikanásobkem proudu jmenovitého. Při jejich častějším spínání než asi 1 krát za minutu by mohlo oteplení stykače zapínacím proudem přesáhnout (dovolené) oteplení jmenovitým proudem. Aby k tomu nedošlo, zmenšuje se v závislosti na hustotě spínání pracovní proud více či méně pod hodnotu jmenovitého proudu. Stykač se při takovém provozu smí použít jen pro spínání motorů, jejichž jmenovitý proud není větší než odpovídající pracovní proud. [1]

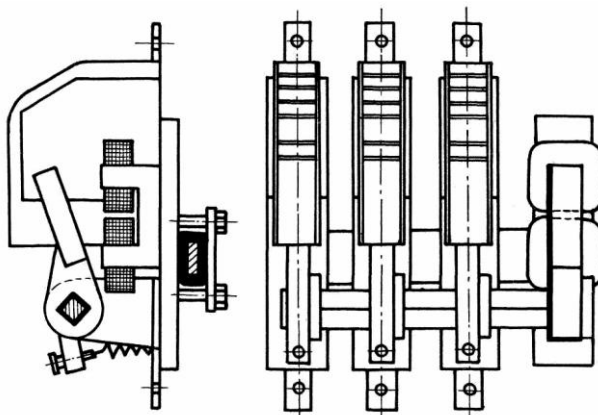
Podle konstrukčního provedení lze stykače rozčlenit na stykače pákové a stykače suvné. Schéma konstrukčního uspořádání kontaktního mechanismu stykače pákového provedení je na obr. 1 až 3. Je univerzální, neboť se hodí pro všechny tři možné způsoby ovládání a pro stykače na proud střídavý i stejnosměrný. Menší přístroje bývají montovány na izolační desce, větší na ocelovém rámu.



Obrázek 5. Trojpólový stykač nn se souměrným uspořádáním pólů

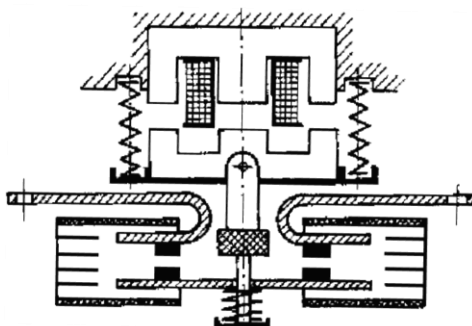
Pevný kontakt je spojen s horní přívodní svorkou. Kontakty jsou uvnitř odnímatelné zhášecí komory. Přístroj je vícepólový. U elektromagnetických stykačů lze rozlišit podle vzájemného uspořádání jednotlivých pólů a společného ovládacího elektromagnetu provedení souměrné nebo nesouměrné. Při souměrném uspořádání je elektromagnet umístěn v ose desky nebo rámu a póly jsou rozloženy souměrně před nebo spíše nad elektromagnetem. Všechny póly jsou ovládány společným třmenem s izolačním oddělením proudovodných částí a kotvy magnetu. Nesouměrné uspořádání má elektromagnet na jedné straně kontaktního ústrojí, které je ovládáno přímo pomocí izolovaného čtyřhranného hřídele. Toto uspořádání je vhodné pro stavebnicové řešení konstrukce. Místo rámu bývají jednotlivé póly tvořící samostatné celky, nesené spolu s ovládacím elektromagnetem jednou nebo dvěma ožehlenými tyčemi. [1]

Pákové stykače mívají nejčastěji měděné, palcové kontakty. Aby byl vzhledem ke koroziivnosti mědi zajištěn dobrý styk, bývá páka pohyblivého kontaktu opatřena kloubem, který umožňuje vzájemné smyknutí kontaktů po sobě, a tím porušení korozní vrstvy. Zhášecí komory bývají kovové, někdy izolační šterbinové, popř. roštové. Pákové provedení se používá pro stykače na střídavý proud a větší jmenovité proudy a pro stykače na stejnosměrný proud. Zatímco střídavé stykače se staví výlučně jako trojpólově, stejnosměrné bývají dvoupólové (pro přerušení každé větve), čímž se účinně zvětšuje délka oblouku. Zhášecí komory při souměrném provedení bývají umístěny po obou stranách elektromagnetu. Stejnosměrné stykače mají vždy vyfukovací cívku. [1]



Obrázek 6. Nesouměrný trojpólový stykač nn

Stykače se suvným pohybem kontaktní soustavy jsou provedeny tak, že vypnutí nastane (obr. 7) podobně jako u pákových soustav působením (zpravidla dvou) vypínacích pružin. Je-li zajištěno dobré



Obrázek 7. Principiální uspořádání suvného stykače

vedení kotvy, může přístroj pracovat i v jiné než svislé poloze. Pohyblivé kontakty jsou v tomto případě vždy můstkové s dvojnásobným přerušením v každém pólu. Materiál kontaktu je buď čisté stříbro, nebo soustava s velkým obsahem stříbra. Můstky jsou pomocí táhla nebo pákového mechanismu spojeny přes izolační mezičlen s kotvou elektromagnetu. Následkem můstkového uspořádání odpadají ohebné přívody, choulostivý článek z hlediska velké hustoty spínání a velké životnosti. Přes dvojí přerušení bývá celková délka oblouku poměrně krátká, takže suvné provedení stykače je málo vhodné pro stejnosměrný proud. [1]

Suvné stykače vznikly později než stykače pákové. Staví se pro menší jmenovité proudy, nejsou vhodné pro vypínání stejnosměrného proudu a přesto se jich dnes co do počtu kusů vyrábí mnohem

více než stykačů pákových. Jejich konstrukci si vynutila potřeba velkého počtu spínačů pro ovládání střídavých elektromotorů. Počet používaných motorů roste s jejich zmenšujícím se výkonem. Tak bylo upuštěno od požadavku, aby stykače byly schopny vypínat i stejnosměrný proud. Bylo vytvořeno provedení jen pro proud střídavý, ale jednoduché, levné a s velkou životností, vhodné pro velkosériovou výrobu. Proto bylo nutné z přístroje odstranit nebo alespoň omezit na minimum čepy, ložiska, ohebné přívody a z jejich výroby drahé třískové obrábění. Místo toho bylo nutné uplatnit v nejširší míře výlisky jak z kovů, tak z izolantu, omezit počet dílců, dosáhnout jednoduché montáže, a tím jednak zmenšit podíl ručních prací ve výrobě, jednak dosáhnout snadné vyměnitelnosti opotřebovaných dílců v provozu. Suvné stykače zásadně nepoužívají vyfukovací cívky. Musí stačit magnetické pole hlubšího záhybu proudové dráhy spolu s jednoduchou komůrkou na každém přerušení, v níž rošt z ocelového plechu pomáhá vtáhnout a udržet oblouk v komoře. Jako suvné se stavějí dnes stykače až asi do jmenovitého proudu 200 A." [1]

1. 1. Rozdělení stykačů dle použití

„Stykače rozdělujeme na elektromagnetické, pneumatické a vačkové. Dále dle zhášení oblouku na vzduchové, olejové a vakuové.

Další dělení dle použití:

- AC1 bezindukční zátěž nebo zátěž s malou indukčností
- AC2 spouštění kroužkových motorů, brzdění rekuperací (protiproudem)
- AC3 spouštění motorů s kotvou nakrátko, vypínání motorů za chodu
- AC4 spouštění motorů s kotvou nakrátko, častá reverzace chodu

[12]

2. Pojetí spolehlivosti

2.1. Spolehlivost – pojem, pojetí

Chceme-li mít možnost hodnotit a srovnávat spolehlivost systémů, musíme především definovat veličiny, které se budou měřit. Spolehlivost jako taková totiž není sama o sobě kvantifikovatelná - spolehlivost „obecná vlastnost objektu, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek". Definice spolehlivosti podle společnosti EIA je uznávaná většinou odborníků na světě a můžeme ji tedy považovat za obecně uznávanou. V ČR se definice spolehlivosti uvádí v ČSN 01 0102.

Společnost EIA - Electronic Industries Alliance (Sdružení elektronického průmyslu) definuje spolehlivost takto:

„Spolehlivost je pravděpodobnost, že činnost zařízení bude během určené doby a v daných provozních podmínkách přiměřená účelu zařízení".

- Spolehlivost - je komplexní vlastnost, která může zahrnovat např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost a skladovatelnost, buď jednotlivě nebo v kombinaci
- Technickými podmínkami - se rozumí souhrn specifikací technických vlastností, předepsaných pro požadovanou funkci objektu, dále způsoby jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a opravy
- Provozní ukazatele - jsou ukazatele produktivity, rychlosti, spotřeby elektrické energie, paliva, apod

V současné době se zavádí komplexnější pojetí spolehlivosti: Spolehlivostí rozumíme jisté vlastnosti výrobku, které zaručují splnění požadavků kladených na jeho řádnou činnost za daných pracovních podmínek. Jde tu zejména o provoz bez poruch, opravitelnost, udržitelnost, skladovatelnost apod. Kvantitativně se spolehlivost určuje různými číselnými charakteristikami. [2]

Všimněme si, že v definici jsou zdůrazněny čtyři základní pojmy:

1. pravděpodobnost
2. přiměřená činnost
3. doba
4. provozní podmínky

Tito čtyři činitelé jsou velmi důležití a každý z nich hraje důležitou roli

1. **Pravděpodobnost** - první základní pojem z definice spolehlivosti, má kvantitativní charakter, neboť je vyjádřena jako číslo (zlomek nebo procento). Pravděpodobnost udává podíl součtu

případů, v nichž můžeme očekávat při pokusu nějakou událost, k celkovému počtu pokusů. Tak např. tvrzení „pravděpodobnost P , že zařízení snese 50 hodin činnosti bez poruchy, se rovná 0,65 nebo 65 %“ znamená, že pouze v 65 ze 100 případů můžeme očekávat, že nedojde během 50 hodin činnosti k žádné poruše.

2. **Přiměřená činnost** - je druhý základní pojem z definice spolehlivosti, který již svým názvem ukazuje, že musí být stanoveno kritérium jasně specifikující, popisující nebo definující, co je považováno za uspokojivou činnost. Představme si např., že se porouchá jedna ze zapalovacích svíček osmiválcového automobilového motoru; motor může v tomto případě klepat, avšak bude dále fungovat. Činnost zde můžeme považovat za přiměřenou, dojde-li automobil v předepsané době na místo určení. Když se však zcela porouchá motor, nebo když jen sotva funguje, potom nesporně nemůžeme považovat tento stav za přiměřenou činnost.
3. **Doba** - je jedním z nejdůležitějších pojmů, neboť vyjadřuje časový interval, v kterém můžeme očekávat určitý funkční stav. Časové závislosti jsou základní koncepcí spolehlivosti; bez znalosti pravděpodobnosti bezporuchové činnosti v daném čase totiž nemůžeme určit pravděpodobnost úspěšného splnění úkolu, jehož trvání je vymezeno .
4. **Provozní podmínky** - které předpokládáme pro uvažované zařízení, jsou čtvrtým zásadním pojmem z definice spolehlivosti. Zahrnujeme sem mimo jiné takové typické činitele, jako je teplota, vlhkost, nárazy a chvění. Zkušenosti potvrzují, že každý z těchto činitelů má určitý vliv na činnost zařízení. Je tedy nutné zahrnout je do specifikací spolehlivosti. V opačném případě by totiž byla definice spolehlivosti relativně bezvýznamná. [2]

2. 2. Definice jakosti

Jakost výrobku je stupeň upotřebitelnosti výrobku k plnění určeného úkolu a souladu jeho provedení s normami, neboli jakost výrobku je dána souhrnem vlastností, zejména funkčních vlastností, vzhledu, spolehlivosti a životnosti, jestliže předpokládáme jeho používání k funkci, pro kterou je určen, při stanovených podmínkách. Stanovení vlastností výrobku musí vycházet ze současného vývoje techniky a dbát na národohospodářské požadavky. [2]

Ve specifikacích jakosti výrobku zpravidla neuvažujeme časové závislosti, jak je tomu běžně ve specifikacích na spolehlivost. Specifikace jakosti většinou obsahují technické podmínky kladené na výrobek nebo obsahují popis zkoušek, při kterých musí výrobek obstát, bez uvažování časových závislostí. V elektronickém průmyslu je mnoho různých norem, určujících technické podmínky výrobku a třídících vady výrobku z hlediska jakosti. Jakost je relativním měřítkem, neboť je určena normami a dohodami pro daný výrobek. Vady se zpravidla rozdělují:

- Hrubé
- Podstatné
- Nepodstatné

Tohoto třídění se používá pro různé kategorie vad, jako jsou vady pájení, vady zapojení, vzhledové vady apod. Zkušenost ukázala, že dobrá jakost je podstatnou složkou vysoké spolehlivosti,

neboť špatné provedení může zkrátit dobu života výrobku a mít tak nepříznivý vliv na jeho spolehlivost. [2]

2. 3. Důležitost spolehlivosti

Důležitostí se rozumí významnost daného zařízení z hlediska dopadu jeho výpadku. Zda při jeho výpadku bude mít vliv jen na osud jednotlivce nebo výpadek této součásti vyřadí část nebo celek ovládané soustavy. Dnešní přístroje se skládají z několika drobných součástí vytvářející celek jednoho dílu. Porucha jediné z těchto součástí může mít - a v četných případech také má - nepříznivý vliv na celek přístroje. U složitých zařízení, která mají být velmi spolehlivá, musí tedy vykazovat jejich jednotlivé součásti vysoký stupeň spolehlivosti. Důležitost zařízení tedy nesouvisí se samotnou spolehlivostí zařízení, ale závisí výhradně na jeho umístění v soustavě.

2. 4. Metody na dosažení spolehlivosti

Základní metodou na dosažení spolehlivosti výrobků je dokonalá konstrukce. V některých případech je tato cesta snadná, kdežto v jiných je nesmírně obtížná. Při navrhování inovací stávajících výrobků se konstruktér opírá o množství údajů z původního přístroje a dosavadní znalosti jen zdokonaluje. Naopak při konstrukci nového výrobku se potýká s celou řadou omezení. Mezi omezení náleží cena, váha, objem a prostorové uspořádání. Kromě toho podléhají požadavky na konstrukci neustálým změnám a údaje o spolehlivosti použitých dílčích celků a součástí nejsou vždy dostupné. Konstruktér se tu proto musí uchýlovat k zvláštním postupům a k zdlouhavým zkouškám, aby dosáhl požadovaného stupně spolehlivosti při uložených omezeních. [2]

Jeden z úspěšně používaných postupů je metoda předpovědi spolehlivosti. Jde tu o syntézu vlivů spolehlivosti různých dílů a součástí, obsažených ve vyvíjeném zařízení, a o výpočet celkové spolehlivosti, opírající se o určité statistické metody. Hlavní výhoda předpovědi spolehlivosti spočívá v tom, že konstruktér získá jasný odhad dosažitelné spolehlivosti. Rovněž může zjistit ty součásti nebo konstrukční prvky, které nepříznivě působí na spolehlivost, a může pak rozhodnout, zda je třeba používat zálohování či jiné metody pro zvýšení spolehlivosti. Při zálohování dosazujeme více než jeden prvek pro zajištění lepší spolehlivosti. Porouchá-li se jeden prvek, nastupuje na jeho místo další. V elektronickém zařízení můžeme použít paralelních odporů, takže při spálení jednoho odporu přebírá zátěž druhý. Zálohování je dobrá metoda, které může konstruktér používat. Je ovšem třeba, aby pečlivě uvážil všechny důsledky a zaručil, že zbývající neporušený prvek bude schopen zajistit správnou činnost a že nedojde k nežádoucím účinkům na jiné prvky zařízení, které by vyvolaly další potíže. [2]

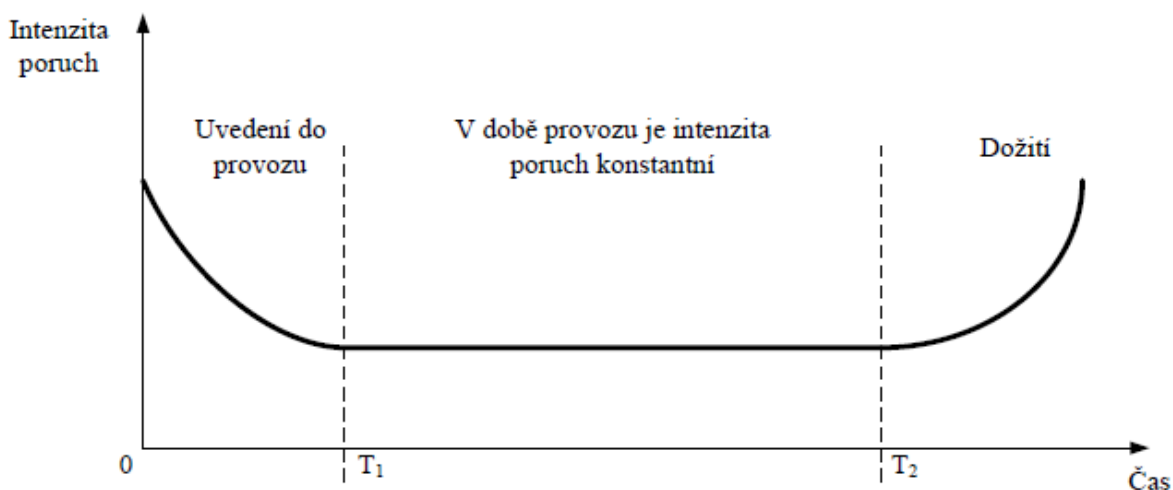
Jiná metoda zálohování používá přepínání. Porouchá-li se původní prvek, přepne se na jeho místo záložní. Jiný způsob zajišťování spolehlivosti zařízení jsou mezní zkoušky. Předepisuje je konstruktér jakožto metodu předpovědi pravděpodobnosti blížících se poruch. U elektronického

zařízení mohou mezní zkoušky spočívat ve zjištění chování určitých součástí při napájení nejvyšším přípustným napětím. Tímto způsobem lze vyloučit opotřebené součásti a nahradit je dříve, než se u nich projeví skutečná porucha. [2]

Při zajišťování vysoké spolehlivosti je rovněž třeba uvažovat udržitelnost. Mohou-li se rychle vyměňovat a nahrazovat díly zařízení, můžeme rychle opravit poruchu nahrazením vadné součásti nebo dílčího celku zařízení dobrým náhradním dílem. Může-li být taková náhrada provedena rychle, je zařízení dobře opravitelné a jeho pohotovost je vysoká. Promyšlená konstrukce umožňuje rychlou výměnu součástí a zaručuje tak nejkratší dobu prostoje při poruše. To znamená, že elektrické a mechanické tolerance jsou dostatečně široké, že zařízení bude pokračovat v činnosti po nahrazení součástí bez rozsáhlého nastavování a seřizování. Dále je třeba, aby se součásti daly vyměňovat rychle a bez demontáže okolních dílů. [2]

Zabudovaná zkušební zařízení jsou další účinnou metodou zajišťování spolehlivosti. U elektronických zařízení se zpravidla používá zkoušecích obvodů, umožňujících jednoduše zjistit stisknutím tlačítka, zda určitý díl pracuje či nepracuje. Prostým stisknutím tlačítka a pouhým pohledem na patřičnou kontrolní žárovku se tak rychle dozvíme o správné činnosti určitého obvodu. [2]

Jinou metodou pro dosažení vysoké spolehlivosti je tzv. zahořování. Zařízení obecně prochází při svém používání třemi samostatnými a zřetelnými obdobími. První, počáteční období se vyznačuje poměrně vysokou intenzitou poruch zařízení a tedy i zvýšeným výpadem způsobeným „dětskými nemocemi“ zařízení. V druhém období je zařízení v normálním provozu a zkušenosti ukazují, že intenzita poruch je tu konstantní. Toto období se proto rovněž označuje jako období konstantní intenzity poruch. V třetím období se již projevuje opotřebení součástí, které způsobuje rychlý vzrůst četnosti a intenzity poruch. Rychlý vzrůst těchto charakteristik spolehlivosti je tak známkou, že zařízení zestárlo nebo se opotřebovalo.



Obrázek 8. Vanová charakteristika

Zahořování používáme v počátečním období. Je to postup urychlující ukončení počátečního období tím, že výrobek necháváme v provozu, je-li třeba ve dne v noci, dokud se neprojeví všechny počáteční poruchy a nejsou odstraněny. Po zahoření předpokládáme, že je výrobek v druhém období, v období normálního provozu, v němž vykazuje konstantní intenzitu poruch a poměrně lepší spolehlivost. [2]

Zkoušení na zničení je jiná metoda vylučování možných poruch. Vycházíme tu z předpokladu, že se součást vystavená nadměrnému zatížení předčasně porouchá. A naopak, přežije-li součást tuto zkoušku, považuje se za velmi spolehlivou v méně přísných podmínkách skutečného provozu. Tato metoda se jeví jako vynikající a pravděpodobně velmi účinná pro staticky namáhané součásti. Tato metoda má však naopak pro dynamická namáhání, jako je působení opakovaného zatížení nebo chvění, pochybnou cenu, nejsou-li při zkoušce napodobeny skutečné podmínky. To platí zejména pro elektronické obvody, neboť zde poruchy nejsou vždy způsobeny zvýšeným napětím nebo jiným krajním zatížením a přesné napodobení je proto obtížné. Mnoho poruch součástí je totiž důsledkem jejich nevhodného použití a neslučitelnosti s navazujícími obvody. Pro dynamicky namáhané součásti je proto účinnost zkoušení na zničení pochybná. [2]

Jiný postup pro zajištění spolehlivosti, stanovený běžně v předpisech spolehlivosti, je vybírání součástí podle zvláštních zkoušek. Je to nákladná metoda a přitom není tak účinná, jak by se mohlo zdát. Pro většinu součástí zde provádíme stoprocentní zkoušení za mimořádných okolních podmínek. Tyto podmínky zpravidla předepisují střídání nízké a vysoké teploty, vlhkosti i vystavení součásti chvění a nárazům. Předpokládá se, že součásti, které přečkaly takové zkoušky, budou v konečném výrobku spolehlivě pracovat. [2]

2. 5. Měřítka spolehlivosti

Číselné vyjádření spolehlivosti je bezvýznamné, není-li provázeno výčtem podstatných fyzikálních podmínek a popisem prostředí, při nichž se zjišťovala spolehlivost. Spolehlivost výrobku totiž musí být udána ve vztahu k jeho provozním podmínkám, neboť při jejich změně se mění i číselné charakteristiky vyjadřující spolehlivost. [2]

Nejobvyklejší číselné charakteristiky spolehlivosti jsou intenzita poruch λ , pravděpodobnost bezporuchového provozu P_T a střední doba mezi poruchami T_{stf} . Intenzita poruch se zpravidla vyjadřuje v poruchách na jednu hodinu, 100 h, 1000 h, nebo v procentech poruch na 1000 h. Pravděpodobnost bezporuchového provozu je vyjádřena jako desetinný zlomek nebo procento a udává pravděpodobnost nebo očekávaný relativní počet výrobků, které budou správně pracovat během daného časového intervalu.

$$P_T = 1 - F_T (h^{-1}) \quad (1)$$

- F_T – Pravděpodobnost poruchy

Střední doba mezi poruchami se vyjadřuje v hodinách. Čím větší je střední doba mezi poruchami, tím větší je spolehlivost. Jak již naznačuje název, střední doba mezi poruchami je poměr úhrnné doby zkoušky zařízení k celkovému počtu poruch.

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N_P} (h^{-1}) \quad (2)$$

- N_P - Počet poruch příslušného typu
- τ_i - Doba poruchy příslušného prvku

Intenzita poruch je převrácená hodnota střední doby mezi poruchami. Čím menší je číselná hodnota intenzity poruch, tím větší je tedy spolehlivost. [2]

$$\lambda = \frac{N}{Z \cdot X} (h^{-1}) \quad (3)$$

- N – počet poruch (-)
- Z – počet prvků příslušného typu přístroje (-)
- X – délka sledovaného období (h)

2. 6. Obecné směrnice pro specifikace spolehlivosti

Dobré specifikace spolehlivosti musí obsahovat metody pro zjištění, že žádané spolehlivosti bylo skutečně dosaženo. Bylo napsáno mnoho specifikací, které jsou zcela všeobecné a postrádají podrobnosti, nezbytné k tomu, aby se mohlo vyhovět požadavkům na spolehlivost. Účelné specifikace spolehlivosti mají, povšechně vzato, vymezit způsoby měření, hodnocení, zlepšení a předpovídání spolehlivosti. Každá specifikace má pro každý bod stanovit účel, místo, metody, potřebné přístroje, okolnosti a postupy. Podrobnosti každé specifikace v podstatě závisí na charakteristikách posuzovaného zařízení a na jejich důležitosti pro určení spolehlivosti. [2]

V následujících bodech jsou krátce shrnuty nejdůležitější směrnice dobrých specifikací spolehlivosti:

- a) Definice zařízení nebo soustavy.
- b) Informace o stáří soustavy, výrobním stadiu a obměnách.
- c) Kritéria uspokojivé činnosti.
- d) Podklady pro časové výpočty.
- e) Popis provozních podmínek.
- f) Popis podmínek údržby.
- g) Definice selhání a poruchy.
- h) Definice provedení výběrů a výpočtů.
- i) Jiné úvahy.

2. 7. Výrobní opatření působící na spolehlivost

Je mnoho výrobních opatření, která mají vliv na spolehlivost výrobků. Nejdůležitější z nich je kontrola jakosti, která se uplatňuje v různých oblastech, jako je hodnocení provedení, výrobních postupů, materiálů, skladování i výdeje součástí a materiálů, hodnocení změn konstrukce a odchylek, dále při kontrole a zkoušení výrobků a materiálů a v mnoha dalších oblastech. Jak vidíme, výčet působnosti kontroly jakosti je rozsáhlý. Je však třeba si uvědomit, že posláním kontroly jakosti spočívá, jak již naznačuje její název, pouze ve vyhodnocování nebo kontrolování. Kontrola jakosti se např. zabývá vyhodnocením efektivnosti nějakého výrobního postupu, jako je třeba pokovování; avšak skutečné rozhodování a postupu pokovování nebo jeho rozplánování a další vývoj je zpravidla úkolem provozního inženýra. V popředí zájmu kontroly jakosti je u výrobku provedení. Neodpovídá-li totiž provedení stanoveným požadavkům, může mít nepříznivý vliv na spolehlivost výrobku. [2]

Známe dvě základní metody, jichž lze používat k zajištění dobrého provedení výrobků. První z nich je zavedení dobrých výrobních metod a postupů. Druhá metoda je pečlivá kontrola výrobků. Kontrolovat se může v různých fázích výrobního postupu; takovou kontrolu označujeme jako mezioperační. Kontroluje-li se hotový výrobek, jde o tzv. výstupní kontrolu. Nejlepší metodou kontroly jakosti je kontrola výrobního postupu. Tato metoda je nejeekonomičtější. Kontrolaři tu vynášejí svá zjištění do regulačních diagramů, které ukazují, zda je výrobní postup v povoleném rozmezí, nebo zda z něho vybočil, zda je zapotřebí seřadit určitý výrobní stroj apod. Je vždy lepší kontrolovat výrobní postup přímo během výroby než až po dokončení celé dávky výrobků. Kontrola po ukončení výroby bývá proto považována za zbytečné vydání. Většina výrobních postupů závisí na lidech a na strojích, u kterých nelze pochopitelně zaručit neomylnost. Kontrola je proto nezbytnou nutností pro zajištění výroby dobrých výrobků. [2]

V každém případě (bez ohledu na to, zda je dobré provedení výsledkem dobré výrobní metody, účinné kontroly, nebo jak metody, tak i kontroly) má kontrola jakosti nejdůležitější úlohu při zaručování, že výrobek skutečně odpovídá stanoveným jakostním normám. [2]

Na spolehlivost výrobku dále působí volba, skladování a jakost použitých materiálů i součástí. Předepíše-li konstruktér nedopatřením nevhodnou dvojici různých materiálů pro stýkající se součásti, může dojít ke korozi. Při dobře prováděné kontrole jakosti se pravděpodobně zjistí včas tento nedostatek a může být napraven. Skryté vady jsou totiž zpravidla způsobeny nesprávným použitím materiálů nebo špatným zacházením s nimi. Nevhodné skladování materiálu může mít za následek jeho pokažení, které se pravděpodobně projeví v malé spolehlivosti vyráběného zařízení. Nesprávným zacházením na montážní lince nebo na jiných místech se mohou součástky poškodit. Každé poškození, i sebenepatrnější, může mít nepříznivý vliv na spolehlivost. [2]

Kontrola jakosti má své důležité místo rovněž v poloprovozní výrobě a při ověřování nových konstrukcí výrobků. Je dobře známo, že nový výrobek prodělá několik konstrukčních změn, než se zařadí do běžné výroby. V některých případech, ať již způsobených potřebou rychlé dodávky nových výrobků, nebo nedostatečnou obezřetností, napíše konstruktér specifikace nového výrobku podle neúplných nebo nedostatečných údajů. Dostanou-li se takové specifikace beze změn do výroby, buď se podle nich nedá vůbec vyrábět, nebo se v továrně musí udělat drahá přizpůsobení nebo výběr

součástí pro montáž. Montáž z vybraných součástí je velmi nákladná a nežádoucí, neboť se musí pečlivě vybírat k sobě se hodící součásti, aby se z nich dal sestavit spolehlivý výrobek. V poloprovozní výrobě se ještě mohou zavádět konstrukční změny podle objektivních zjištění, a právě proto v poloprovozní výrobě může kontrolor ovládající statistické metody vykonat největší kus práce. Kontrolor tu sbírá údaje pro analýzu výrobních postupů. Podle statistické analýzy pak rozhodne, zda je, či zda není výrobní postup v souladu se specifikacemi. Závěry z kontroly jakosti se dále posuzují z hlediska spolehlivosti a výroby. Tak se dochází ke konečnému rozhodnutí, zda se musí výrobek přestavět, či zda se pozmění specifikace nebo výrobní postup. Kontrola jakosti vystupuje ještě v mnoha jiných směrech, které se podílejí na zlepšení spolehlivosti výrobků. Oddělení kontroly jakosti zkoumá odchylky od předepsaných specifikací a má právo neschválit výrobu při zhoršení jakosti nebo spolehlivosti. Toto oddělení provádí rovněž výběrové zkoušky spolehlivosti, nebo na ně dohlíží. Shromažďují se tu údaje o zkouškách a informace o poruchách a analyzují se, nebo se informace předávají odborníkovi na spolehlivost, aby podle nich určil potřebné konstrukční úpravy. Oddělení kontroly jakosti obecně zodpovídá za zajištění účinné soustavy hlášení poruch, která zaručuje spolehlivé údaje o poruchách a včasná nápravná opatření. [2]

2. 8. Proč je třeba získávat údaje o spolehlivosti

Podle shromážděných údajů o spolehlivosti můžeme především předpovědět nebo vypočítat charakteristiky spolehlivosti výrobku, který bude pracovat za stejných podmínek, z nichž byly získány údaje. Proto je důležité, aby údaje co možná nejpřesněji odpovídaly skutečnosti, neboť jen tak můžeme zaručit správnost výsledků z nich vypočítaných. Přesnost údajů je zvláště důležitá pro předpověď charakteristik spolehlivosti, neboť metody předpovědi nám poskytují přinejlepším pouze dosti hrubý odhad pro očekávané hodnoty. Na správnosti údajů tedy závisí správnost odhadů charakteristik spolehlivosti. Dalším důvodem pro shromažďování údajů o spolehlivosti je zdokonalování výroby. Ze zpracovaných údajů se zpravidla vyvozuje řada závěrů, které se pak předávají zúčastněným pracovníkům nebo oddělením (jako např. konstruktérům, oddělením kontroly jakosti), aby se mohla učinit potřebná opatření ke zdokonalení výrobku ať již ve výzkumu, vývoji, nebo přímo ve výrobě. [2]

Laboratorní zkoušky spolehlivosti a jejich vyhodnocení ukazují konstruktérovi činitele, jež mají nepříznivý vliv na spolehlivost výrobku a jež musí konstruktér odstranit. Ve výrobě získáme ze zkoušek náhodně vybraných vzorků informaci o spolehlivosti produkovaných výrobků. Zkoušky rovněž ukazují na příčiny kolísání spolehlivosti výrobků. [2]

2. 9. Údaje o vlastní spolehlivosti výrobků

Vlastní spolehlivost zařízení můžeme předpovídat s určitým stupněm záruky, vycházíme-li z dříve získaných údajů. Předpokládáme tu, že údaje, používané pro předpověď spolehlivosti, pocházejí z hodnověrných zdrojů. Musí být přesně stanoveny metody, postupy a zkušební podmínky

pro získání těchto údajů, aby byla zajištěna jejich objektivnost. Konstruktor může pokládat takové údaje za přesné a zaručené a může podle nich vyhodnotit svůj projekt. Mimoto může konstruktor zodpovědněji vybrat součásti a stanovit jejich zapojení, zná-li obecné podmínky, za kterých byly získány potřebné údaje. Dalším nezbytným požadavkem pro zaručení spolehlivosti údajů je obsazení zkušebny vhodnými pracovníky, dobře obeznámenými s vlastním postupem zkoušek a schopnými určit příčinu poruch podle předem stanovených kritérií. Tito pracovníci musí rovněž umět rozlišit různé typy poruch a určit jejich skutečnou příčinu. Mimoto nesmějí při zaznamenávání údajů zaměňovat nezávislé (primární) poruchy se závislými poruchami, které jsou následkem jiné poruchy. Schopnost rozlišovat příčiny poruch je jedním ze základních požadavků, kladených na osazenstvo zkušebny. Jen při zaručení těchto podmínek lze získat skutečně dobré informace. [2]

3. Objektivita a diagnostika

3.1. Objektivita - Filozofie

Objektivita (z lat. obiectum, předmět) je kvalita či rys takového poznávání nebo popisu, které se snaží co nejvíce přiblížit svému předmětu, a tedy co nejvíce omezit vliv poznávající osoby. Je žádoucí právě proto, že nezávisí na osobách, a je tedy platný, použitelný a přijatelný pro každého. Problém je ovšem v tom, že nemáme žádné měřítko, kterým bychom objektivitu mohli zjišťovat a měřit. Poznání je vždy zprostředkováno nějakým člověkem a není bez předpokladů. Poznávající musí mít celou řadu znalostí a zkušeností, které poznání umožňují, ale zároveň se na něm podílejí, a tedy je nějak utvářejí. Další problém vzniká při formulaci poznání v řeči: jazyk sám člověka nutí užívat jistých kategorií. Tak člověk, který vidí letícího černého ptáka, vidí jedinou věc, musí ji však vyjádřit slovesem, podstatným a přídavným jménem. Pro popis barev máme k dispozici omezenou škálu výrazů a podobně. [15]

K objektivitě se lze přiblížit několika cestami:

- člověk si má uvědomit své specifické předsudky a sklony a pokusit se na ně brát ohled
- obsah poznávacího aktu se někdy dá velmi zjednodušit experimentálním uspořádáním, které lze přesně popsat a kde se od poznávajícího nechce nic víc, než aby odečetl hodnotu na nějakém měřicím přístroji; možnost osobního vlivu či chyby se tak radikálně omezí
- běžným prostředkem na podporu objektivity je kontrola druhou osobou

Jakkoli objektivita zůstává ideálem každého poznání a popisu, přece se nakonec musíme většinou spokojit se slabší kvalitou poznání intersubjektivního, které sice neplatí pro každého, ale aspoň pro více osob. Cestou k němu je právě srovnání, konfrontace zkušeností různých lidí v co nejširší diskusi, jakou nabízejí např. odborné časopisy. O poznání, které v takové zkoušce obstojí, sice nemůžeme tvrdit, že by bylo objektivní, je to však nejlepší možné přiblížení, jaké máme k dispozici. [15]

3.2. Výzkum

Při každém výzkumu by měla být zachována objektivita. Ta je dána:

- mírou (stupněm) nezávislosti dané výzkumné metody na osobě uživatele. Čím vyšší je její hodnota, tím více je zaručena jednoznačnost výsledků. Snižuje se nebezpečí, že by badatel zkreslil fakta, aby získal žádoucí výsledky - to se stává například při rozhovoru,
- tím, že zkoumaná osoba nemá nebo má pouze minimální možnost působit na výsledky ve výhodném nebo pro ni žádoucím směru,
- nezávislosti výsledků na osobách, které je analyzují a vyhodnocují. U objektivních testů se tedy musejí různí pozorovatelé dopátrat stejných výsledků

Na začátku každé výzkumné práce je tedy nutné identifikovat možné konflikty zájmů a eliminovat je. Objektivita výzkumu by jinak mohla být zpochybněna určitou vazbou výzkumných pracovníků např. na sponzory, klienty apod. [14]

Kromě toho, že jednotlivé výzkumné metody musí být objektivní, měly by být zároveň standardní, spolehlivé, platné (validní), kvalitativně i kvantitativně interpretovatelné a úsporné. Jenom tak mohou přinášet nové poznatky a verifikovat je (tzn. ověřovat jejich pravdivost, tedy řešit otázku subjektu s objektivní realitou). Tím lze získat fakta, resp. ověřené poznatky. [14]

3.3. Technická diagnostika

Jedním z požadavků, který přináší technický rozvoj našeho průmyslu, je potřeba výrazně zlepšit extenzivní a intenzivní využití výrobních prostředků a zařízení. K tomu je nutno vytvářet technické, technologické a organizační podmínky a také zdokonalit metody údržby. Tyto metody bývají někdy poplatné přehnanému prakticismu. Zásadní pokrok na tomto úseku je umožněn teprve aplikací vybraných závěrů teorie spolehlivosti. Cílem moderní údržby je zajistit provozní spolehlivost strojů a strojních zařízení, zvláště těch, které jsou technologicky nenahraditelné, velmi drahé, popřípadě tvoří úzký výrobní profil. [3]

Z provozně opravárenského hlediska mají tedy velký význam nově se prosazující metody příbuzného charakteru, které tvoří obor technické diagnostiky. Diagnostiku definujeme jako obecnou nauku o zjišťování poruch, respektive celkového technického stavu zařízení. Pro praxi mají hlavní význam metody takzvané bezdemontažní diagnostiky. Název dostatečně vysvětluje jejich poslání bez demontování a většinou i za chodu zařízení rozpoznávat místa ohrožená poruchou. [3]

Zásadně rozlišujeme tři typy úloh pro určení stavu technického objektu:

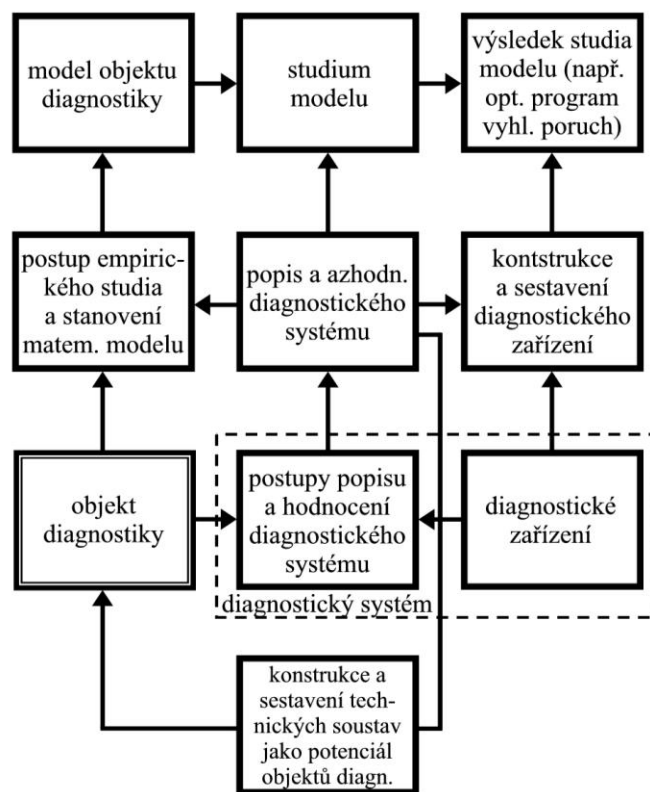
- vlastní technickou diagnostiku, která se zabývá zjišťováním technického stavu objektu v přítomnosti
- technickou prognostiku zahrnující úlohy, které řeší problematiku předvídání technického stavu na určitý časový nebo jinak definovaný úsek života objektu
- technickou genetiku, zkoumající stav, ve kterém se objekt nacházel v určité době minulosti

Úkoly technické genetiky vznikají např. při vyhodnocování havárií a jejich příčin, jestliže se okamžitý stav objektu liší od toho, ve kterém se nacházel v okamžiku havárie. Tyto problémy se řeší určením možných nebo pravděpodobných příčin vedoucích k současnému stavu objektu. Mezi úkoly technické prognostiky patří např. úlohy spojené s určením doby provozu objektu nebo s určením periodicity jeho pravidelných prohlídek a oprav. Řeší se cestou určení možného nebo pravděpodobného vývoje stavu objektu, který začíná od současného času. Z těchto důvodů je znalost okamžitého stavu objektu — diagnóza — jak pro genezi, tak i pro prognózu potřebná. [3]

Technická diagnostika zahrnuje a předpokládá řešení řady otázek viz obr. 9.:

- analýzu konkrétních objektů

- analýzu a sestrojení odpovídajících matematických modelů
- výzkum a sestrojení konkrétních diagnostických zařízení



Obrázek 9. Vzájemná vazba základních aspektů technické diagnostiky

1. Aspekt technické diagnostiky - analýza konkrétních objektů diagnostiky - je spojen s rozpracováním metod měření a vlastním řešením těchto základních úloh:

- prostudování normální činnosti objektu diagnostiky
- určení prvků objektu z hlediska výskytu možných poruch a určení vzájemných vazeb
- určení možných stavů objektu, tj. možných kombinací poruch prvků
- analýza technických možností zjišťování příznaků, které charakterizují stav objektu
- sběr a zpracování statistických materiálů, což umožňuje určit rozložení pravděpodobnosti možných stavů objektu a také zákonitosti projevu poruch jeho jednotlivých prvků

Všechny tyto úkoly předpokládají empirické sledování konkrétních objektů diagnostiky a diagnostických postupů. [3]

2. Aspekt technické diagnostiky - analýza a sestrojení odpovídajících matematických modelů - je spojen se sestavením matematických modelů objektů a diagnostických postupů a tvoří tyto úlohy:

- rozpracování metod sestrojení diagnostických testů pro vyhledání porouchaných prvků
- sestavení optimálních diagnostických programů, tj. sledů prověrek umožňujících posoudit stav objektu metodou postupného vyhledávání.

3. Aspekt technické diagnostiky - výzkum a sestavení konkrétních diagnostických zařízení, má tyto cíle:

- popis existujících diagnostických zařízení
- seznámení s principy jejich projektování
- zhodnocení diagnostických zařízení z hlediska rychlosti operací, spolehlivosti, věrohodnosti diagnózy atd.
- zhodnocení účelnosti a ekonomické efektivity navrženého stupně automatizace diagnostického procesu

Zatím se však často současné technické soustavy projektují bez uvažování požadavků diagnostiky. To se hlavně projevuje v tom, že není realizován potřebný informační subsystém. Je zřejmé, že automatizace diagnostických procesů vyžaduje speciální organizaci technických soustav, které umožní rychlé a pohodlné připojení diagnostických zařízení. Proto má velký význam vypracování vědecky zdůvodněných doporučení, která již v etapě projektování technické soustavy umožní zvolit princip činnosti a organizaci soustavy tak, aby odpovídaly požadavkům technické diagnostiky. Tak se vytváří nový objekt výzkumu - diagnostický systém. Je třeba zdůraznit, že přístup technické diagnostiky ke studiu tohoto nového objektu diagnostického systému - je v zásadě odlišný od přístupu ke studiu objektu diagnostiky. Jestliže objekt diagnostiky představuje zájem pouze ze strany zákonitostí projevování a odhalování poruch, potom diagnostický systém studujeme s ohledem na zákonitosti jeho organizace a činnosti vzhledem ke kritériím hodnocení jeho efektivity. [3]

3. 4. Technický rozvoj a diagnostika

Existence kteréhokoliv výrobku je charakterizována těmito etapami:

- projekt - formování požadavků na provozní využití výrobku a návrh technického řešení
- konstrukce - vypracování podkladů pro výrobu včetně jejich ověření na prototypu
- výroba - vyrobení dílu a celého výrobku podle dokumentace včetně jeho uvedení do chodu
- provoz - využívání výrobku podle určení (podle technických podmínek) včetně jeho skladování nebo využití jako zálohy

Zatímco etapy projekce a konstrukce představují formulování požadavků budoucího uživatele a jejich promítnutí do konkrétního konstrukčního řešení, výroba a provoz představují skutečný život výrobku. Přirozeným požadavkem jak výrobce, tak zejména uživatele je zabezpečit maximální provozní využití výrobku, a tím dosáhnout jeho vysoké užitné hodnoty. Toto využití závisí zejména na vysoké provozní spolehlivosti výrobku a na optimální organizaci provozního využití. Provozní spolehlivost je tvořena inherentní spolehlivostí výrobku, která je určena jeho konstrukčním řešením a plněním předepsaných funkcí, obvykle formulovaných v technických podmínkách výrobku. U některých výrobků přistupují ještě požadavky na splnění zvláštních bezpečnostních předpisů, které spolu s běžnými bezpečnostními požadavky také tvoří součást technických podmínek. [3]

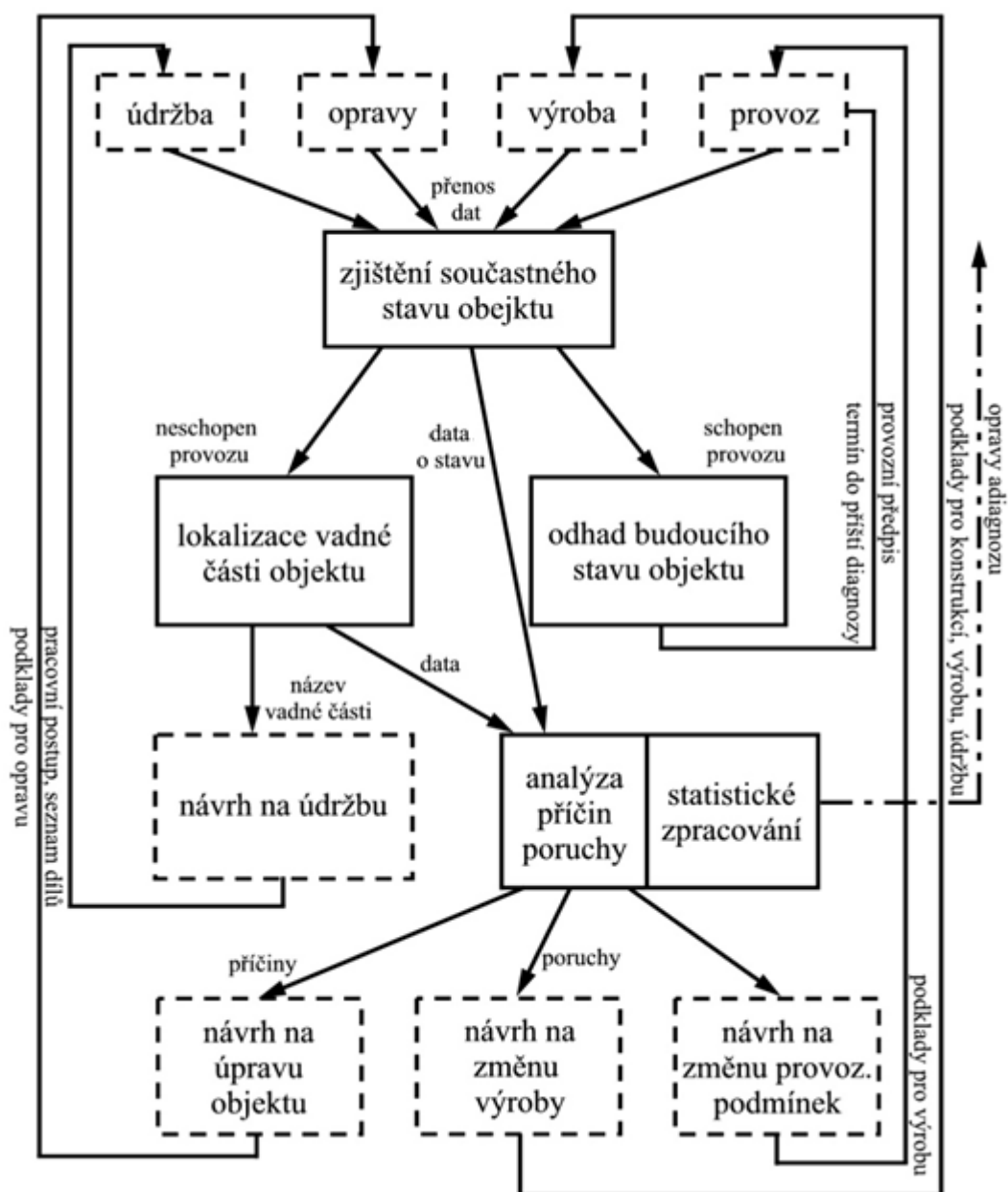
Používáním a skladováním výrobků dochází v materiálech, jednotlivých součástech a vazbách mezi nimi k postupným nebo skokovým změnám, které všeobecně charakterizujeme jako opotřebení a stárnutí. Tyto nevratné změny neprobíhají rovnoměrně ani v čase, ani na témže místě. Nerovnoměrnosti, můžeme pozorovat jak na jednotlivých součástech, tak i na zařízení jako celku. V určitých místech se objevují kumulativní projevy opotřebení a stárnutí - kritická místa, jak spojitých tak i nespojitých nevratných změn – poruch. Tyto nerovnoměrnosti v rozložení a průběhu nevratných dějů ztěžují jak podmínky pro plynulou výrobu, tak i pro bezporuchové provozní využívání výrobku. Stává se, že vlivem nerovnoměrné životnosti součástí výrobků dochází k řetězovitým projevům poruch - postupným výpadkům strojů a zařízení způsobeným provozní nespolehlivostí. Homogenizace životnosti zařízení je v této situaci důležitým nástrojem pro komplexní řešení neuspokojivého provozního stavu. Optimální podmínky řešení je možné vytvořit jen při úzké spolupráci všech zúčastněných složek, a to:

- projekce
- konstrukce
- technologie a materiálu
- výroby
- provozního využití
- technického a právního dozoru (dohlédací úřad)

Vzájemné vazby mezi těmito složkami se dostávají do popředí zvláště při konfrontaci se současným stavem. Tyto vazby ve většině průmyslových odvětví totiž v podstatě neexistují, nebo mají nevyhovující úroveň. Důsledky tohoto stavu - pokles technické i produkční úrovně řady našich výrobků - se projevují i na poli obchodním. [3]

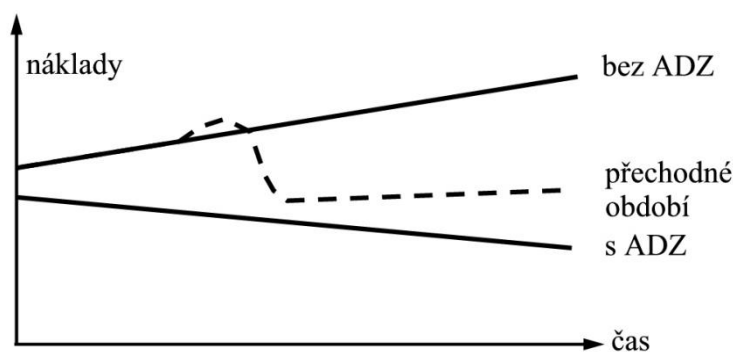
Jeden z hlavních činitelů tohoto vývoje byl nalezen i ve vztahu mezi výrobcem a uživatelem, popř. technickým dozorem. Konkrétním projevem tohoto vztahu musí být výměna zcela konkrétních, určitým způsobem zpracovaných informací. K této všeobecně žádoucí výměně údajů však často nedochází ze zcela triviálních důvodů - údaje se nesledují pro obtíže při jejich sběru a vyhodnocování. Podrobnější průzkum odhalí, že je to následek nedostatečného rozvinutí všech forem diagnostických metod a prostředků. Používání diagnostických metod a prostředků jak při výrobě, tak i provozu se stává stále více běžným jevem, zejména s ohledem na stále vzrůstající složitost a technickou náročnost strojů a strojních zařízení. Úkolem diagnostikování (testování) při výrobě je především ověřovat kvalitu. Diagnostické testy jsou prováděny ve zvolených mezivýrobních etapách tak, aby bylo dosaženo požadovaného stupně kvality výrobku za minimální náklady a bylo upřesněno rozhodnutí, co a kdy testovat v následujících etapách výroby. Účelem diagnostikování v provozu je dosáhnout požadovaného stupně disponibility výrobku za minimálně možné náklady s ohledem na dané provozní podmínky. [3]

Základní požadavky na testování za provozu se liší v mnoha bodech od požadavků na výrobní testování. Zatímco ve výrobě je zcela normální testovat v každé výrobní etapě, aby se ověřil souhlas s požadavky na prvky, moduly a celý výrobek, v provozu je proces opačný. Počáteční provozní testy jsou určeny k ověření toho, že kontrolovaný výrobek bude plnit svoji funkci podle potřeby a následující testy mohou být využity k progresivní diagnostice poruch, od kompletního výrobku přes



Obrázek 10. Schéma vazeb při diagnóze

podsestavy, moduly až na úroveň prvků. Cílem testování ve výrobě je dosáhnout požadovanou kvalitu výroby za minimální náklady a rozhodování o testování závisí na úsporách, které se projeví v následující etapě výroby. Testovací úsilí, nezbytné v průběhu výroby, se bude měnit se složitostí výrobku a kvalitou, se kterou je vyráběn. Podíl z výrobních nákladů nezbytný k testování během výroby je zřídka nižší než 10 % a v případě elektronického zařízení je často vyšší než 50 % a má stoupající tendenci. Podstatným požadavkem je pečlivé uvážení, co má být testováno, na jakém stupni výroby nebo kontroly kvality má být testováno a jakými prostředky má být test proveden. Volba, co a kdy má být testováno, musí zahrnovat a měla by být omezena pouze na takové operace, které jsou nezbytné k prokázání kvality výroby nebo provozních předpisů. [3]



Obrázek 11. Vliv zavedení automatických diagnostických zařízení na celkové výrobní náklady

Testovatelnost výrobku je důležitým faktorem ovlivňujícím toto rozhodnutí. Zbývá otázka, jak testovat. Odpověď zahrnuje úvahy o technologičnosti řešení, ekonomičnosti, opravitelnosti a rozsahu výroby jako celku. Příklad vlivu zavedení automatického diagnostického zařízení na celkové výrobní náklady je uveden na obr. 11. [3]

Moderní způsob zajištění kvality odmítá testování typu dobrý - špatný v etapě výroby. Bylo zjištěno, že kvalita nemůže být zkoumána na výrobku, ale musí být určitými činnostmi zajišťována jak při projektování, tak i při výrobě, prodeji a servisu. Testování je třeba zahrnout jako integrální část do úvodních formulací požadavků, do projektování a do všech etap výroby a využitelného života výrobku. Plné využití např. automatického diagnostického zařízení pro všechny tyto etapy závisí na racionalizaci testování a úvahách, jak budoucí projektování výrobku uvažuje tuto techniku a jaký bude mít vliv zpětná vazba vyplývající ze zkušenosti z testování. [3]

Rozsah testování závisí na typu výrobku, avšak může být očekáváno, že zahrnuje:

- testování součástí u výrobce
- testování modulů a sestav
- testování celého výrobku
- testování celého výrobku v provozních podmínkách

Toto testování je prováděno pro různé účely, např. předvídání spolehlivosti, ověření konstrukce, ověření kvality. Nejvýrazněji se diagnostika uplatňuje v údržbě zařízení u uživatele, kde zahrnuje:

- diagnostické testování ke zjištění poruchy do úrovně modulů nebo sestav
- testování opravených modulů nebo sestav
- diagnostické testování ke zjištění příčin poruch uvnitř modulů nebo sestav
- kompletní výrobní testování po velké nebo generální opravě

Řada jednotlivých testů a sledu testů může být stejná v řadě těchto případů, změny v testovacích metodách jsou vyvolány hloubkou požadované diagnostiky a hodnocení kvality. Tyto postupy jsou stejně dobře použitelné, ať jde o ruční nebo automatické testování, i když automatické testování vyžaduje podrobnější a přesnější popisy testu. Jestliže je použita jakákoliv forma navrhování diagnostických testů s využitím počítače, tím je naléhavější potřeba přesné a jasné komunikace mezi projektantem zařízení a projektantem testování a diagnostiky. Jasně definovaný metodický přístup

k řešení problémů testování, zejména jestliže jsou používány automatizované postupy, může přinést řadu výhod všem zúčastněným na projektování, výrobě a provozu. [3]

Řízení kvality vyžaduje faktické informace, na kterých je založeno rozhodování. Tyto informace je třeba získat ze sběru informací a jejich zpracování z průběhu celého života výrobku. Kombinace automatického diagnostického zařízení pro sběr dat a jejich automatické vyhodnocování znamená hospodárný prostředek pro sledování kvality řady nejrůznějších výrobků. Zdroje dat představují zkoušky v etapě vývoje a výroby, výsledky laboratorních a provozních zkoušek kvality, vzorky testů skladovaných výrobků a testy prováděné během provozního života výrobku. Výběr dat je důležitý. Příliš velký objem dat a jejich zpracování bude jistě nákladný, avšak budou odhaleny všechny kritické parametry. Metody sběru a zaznamenávání musí být proto pečlivě uváženy, protože podstatně ovlivňují hodnotu zaznamenávaných dat a jejich hodnocení. Zatímco ve výrobě je úroveň kvality definována v konstrukčních podkladech, během provozního života se může úroveň kvality pro testovací účely měnit tak, aby pokryla měnící se požadavky uživatelů, stupeň confidence vynucený rozdílným pracovním prostředím, ekonomikou oprav, záměnností a poruchovostí výrobků. [3]

Rozptýlenost kontrolovaných výrobků je problémem, který často vzniká při údržbě, ale není spojen s testováním při výrobě. Testování funkčních vlastností a diagnostické testování až do úrovně vyměnitelné jednotky může být řešeno buď přemístěním kontrolního zařízení k demontované jednotce, nebo naopak. Podrobnější diagnostické testování porouchaných výměnných bloků se častěji provádí centrálně. Jiný faktor, který komplikuje provozní testování, je výskyt modifikací diagnostikovaných zařízení v provozu. Tyto potíže jsou ještě větší, jestliže se v provozu používají zařízení s povýrobními úpravami. Tyto okolnosti mají základní vliv na testovací postupy a z toho vyplývá nutnost dostatečně univerzálních testovacích programů a software - testovacího jazyka, který umožní rychlé a jasné přenášení informací mezi projektantem, výrobcem, provozovatelem a údržbou. [3]

3. 5. Úlohy a formy diagnostiky - základní pojmy

V úvodu byl formulován obor technické diagnostiky. Zahrnuje teorii, metody a prostředky související s organizací prověrek technického stavu objektu i formulaci při tom vznikajících matematických a technických problémů, metody a prostředky jejich řešení, metody a prostředky technické realizace navržených zařízení, popřípadě jejich začlenění do nadřazeného systému řízení provozu objektu. [3]

3. 6. Objekt diagnostiky

Objekt (technické) diagnostiky je objekt, u něhož provádíme nebo hodláme provádět prověrku jeho technického stavu za účelem splnění některého z úkolů diagnostiky. Objektem může být výrobní celek, jeho element (blok), strojní prvek, samostatný výrobek atp. Formalizací funkcí a struktury

objektu pro účely řešení úkolů technické diagnostiky získáváme diagnostický model objektu. Je dán strukturou vnitřních bloků objektu, jejich parametry a charakteristikami těchto parametrů. Základním úkolem diagnostiky je vyslovení diagnózy charakterizující technický stav objektu z hlediska výskytu poruch, přičemž forma diagnózy musí být vhodně využitelná pro optimalizaci profylaktických úkonů s cílem uvést objekt do normálního stavu. Technický stav objektu definujeme jako souhrn vlastností objektu, které vystihují jeho schopnost vykonávat požadované funkce v daný okamžik. (Popis požadovaných funkcí a podmínek použití tvoří nedílnou součást definice objektu). [3]

Potom provozuschopnost, to je jeho pracovní způsobilost, definujeme jako stav objektu, při kterém objekt v daném časovém okamžiku plní nebo je schopen plnit všechny požadované funkce (schopnost plnit všechny požadované funkce je uvažována bez ohledu na to, zda je objekt v provozu, v prostoji pro údržbu, zda je skladován apod.). Jev spočívající v ukončení schopnosti objektu plnit dokonale požadované funkce podle technických podmínek neboli jev spočívající v přechodu z provozuschopného do neprovozuschopného stavu nazýváme porucha. [3]

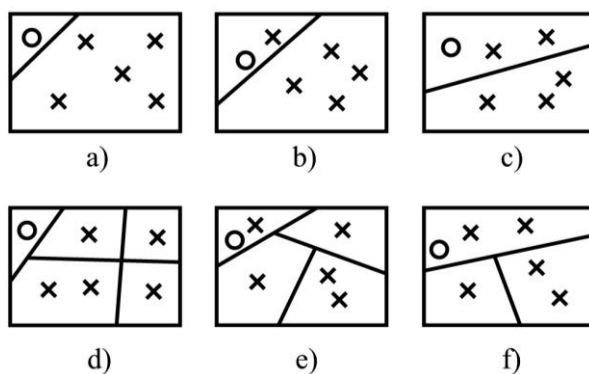
V běžné terminologii je rozlišováno více různých druhů poruch, a to z hlediska jejich vzniku, časového průběhu a stupně opotřebení (ČSN 01 0102). Z hlediska aplikace technické diagnostiky je významné toto členění:

- **Poruchy náhlé** - vznikají v důsledku náhlé změny parametrů objektu, nemohou být předvídaný a diagnostika se zde uplatňuje pouze v následné formě, za účelem lokalizace poruchy. Charakteristiky spolehlivosti lze v tomto případě formulovat pouze v závislosti na prosté době provozu bez jakékoliv souvislosti s diagnostikou
- **Poruchy postupné** - vznikají v důsledku postupné změny parametrů, mohou být předvídaný pomocí preventivní formy diagnostiky. Postupné poruchy jsou významné zejména u mechanických strojních prvků a charakteristiky spolehlivosti se zde uplatňují v přímé vazbě na technickou diagnostiku
- **Poruchy havarijní** - důsledkem postupné změny parametrů objektu je náhlá ztráta provozuschopnosti
- **Poruchy degradační** - důsledkem postupné změny parametrů objektu je postupné zhoršování jeho užitečných vlastností, např. kvality produkce nebo ekonomiky provozu

Dále poruchy rozdělujeme podle rozsahu, příčin a časového průběhu.

Objekt považujeme za provozuschopný, jestliže přípustné hodnotě libovolného vstupního signálu odpovídají přípustné hodnoty příslušných výstupních signálů. V opačném případě budeme systém považovat za neschopný provozu. Provozuschopný systém může být jak správný (tj. bez vnitřní poruchy), tak i nesprávný. Prověrka správné činnosti je méně obsažná než prověrka provozuschopnosti, protože zjišťuje správnost funkce pouze v daném režimu a v daném časovém okamžiku. Jinými slovy ve správně fungujícím objektu nemohou být poruchy, které mu neumožňují správně fungovat v jiných režimech. Provozuschopný objekt bude správně fungovat ve všech režimech a po celou dobu jeho činnosti. Proto správný objekt je vždy provozuschopný a funguje správně, nesprávně fungující objekt je vždy neprovozuschopný a nesprávný. Správně fungující objekt může být neprovozuschopný, tedy s poruchou. [3]

Správnost a všechny nesprávné stavy charakterizuje množina X jeho technických stavů. Prověрка neporušenosti, prověřka provozuschopnosti, prověřka správné činnosti a vyhledání poruch představují dílčí úlohy tvořící diagnózu technického stavu objektu. Na obr. 12. je naznačena množina technických stavů objektu, při čemž správný stav je označen znaménkem o , nesprávný stav znaménkem \times . Výsledkem prověřky neporušenosti - správnosti (obr. 12. a), prověřky provozuschopnosti (obr. 12. b) a prověřky správné činnosti (obr. 12. c) jsou dvě podmnožiny technických stavů. Jedna z nich (levá na obr. 12) obsahuje pouze správný stav (při prověřce správnosti) a kromě správného stavu také ty nesprávné stavy, při nichž objekt zůstane provozuschopným nebo správně fungujícím. Druhá podmnožina obsahuje buď všechny nesprávné stavy (při prověřce správnosti), nebo takové stavy, které způsobují, že objekt není provozuschopný nebo nesprávně funguje. Výsledkem vyhledání poruch (obr. 12. d, e, f) je rozdělení nesprávných stavů na druhotné podmnožiny. Počet podmnožin a počet nesprávných stavů v jednotlivých podmnožinách vyjadřuje stupeň rozlišení počtu a obsahu nesprávných stavů (včetně předpokládaných) objektu. Tento stupeň rozlišení se nazývá hloubka vyhledání poruchy, nebo hloubka diagnózy. [3]



Obrázek 12. Množina technických stavů objektu

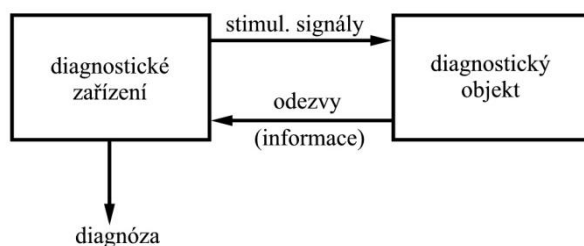
3. 7. Diagnóza technického stavu

Stav objektu lze určit pomocí pozorování různých příznaků stavu objektu. Za příznaky můžeme považovat fyzikální veličiny, funkce těchto veličin měřené na objektu ve statickém nebo dynamickém režimu jeho práce (napětí, proudy, výkony, frekvenční charakteristiky, přechodové funkce, charakteristické funkce atd.) nebo fyzikální veličiny, které nenáleží k objektu, ale jsou dány jeho činností (např. kvalita vyráběné produkce atd.). V obecném případě uskutečnit výběr kontrolovatelných příznaků stavu objektu bez znalosti charakteristik diagnostického zařízení lze jen předběžně. Optimální soubor kontrolovatelných příznaků stavu objektu lze najít jedině tehdy, když známe vlastnosti reálného diagnostického zařízení. Příznaky mohou být jednoparametrické nebo víceparametrické. Pod pojmem parametr příznaku chápeme význam fyzikální veličiny, která charakterizuje příznak. Jednoparametrické příznaky jsou určeny jedním parametrem. Například stejnosměrné napětí je určeno úrovní. Mnohoparametrické příznaky jsou charakterizovány nejméně dvěma parametry. Například střídavé napětí sinusové je charakterizováno minimálně dvěma parametry: amplitudou a frekvencí. [3]

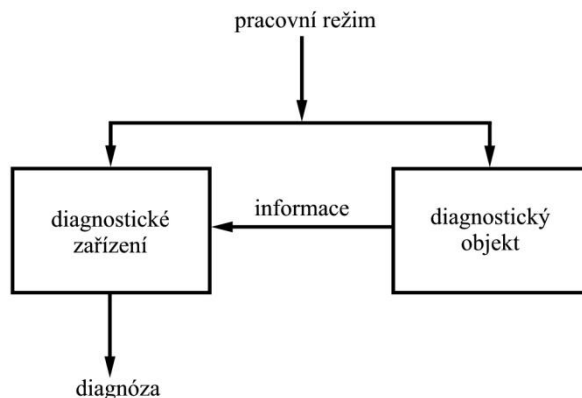
Kontrola objektu se může dít buď v normálním režimu činnosti, nebo v kterémkoliv jiném režimu, který se liší od normálního. Kontrola v normálním režimu činnosti objektu dá ihned odpověď o efektivnosti činnosti objektu. Tuto kontrolu není možno vždy realizovat a někdy není ani žádoucí. Kontrola objektu v režimu odlišném od normálního vyžaduje znalost závislosti činnosti objektu v normálním režimu a v režimu odlišném od normálního. Jestliže určíme efektivnost činnosti objektu v jednom režimu, můžeme určit efektivnost jeho činnosti v normálním režimu. Jestliže využijeme všechny možné režimy prověrek objektu a zákonitosti odpovídajících efektivností činností v různých režimech, můžeme vybrat optimální režim prověrky. Diagnóza technického stavu strojního prvku může být vzhledem k uvedenému členění poruch formulována více či méně vhodnými způsoby. [3]

Dvoustavová diagnóza bývá dosud nejběžnějším způsobem posouzení technického stavu objektu. Předpokládá se zde, že do určité úrovně diagnostických signálů je prvek v normálním stavu a po dosažení této určité úrovně signálů je vyslovena diagnóza porucha. Je to velmi jednoduchý způsob diagnózy, avšak do značné míry nedokonalý, zejména proto, že nerespektuje v praxi významný požadavek možnosti využít diagnózu k prognóze technického stavu, zejména u postupných poruch. [3]

Vícestavová diagnóza technického stavu objektu může být realizována několika způsoby. Zpravidla je diagnóza udávána ve formě naměřené úrovně diagnostických signálů, přičemž vždy určitému rozsahu naměřených hodnot je přiřazena kvantitativně vyjádřená charakteristika rozsahu poruchy. Je známo a běžně používáno více způsobů předběžného zpracování diagnostických signálů s cílem kvantitativního ohodnocení technického stavu objektu, např. v podobě počtu bodů anebo častěji v procentním vyjádření vzhledem k původnímu stavu, představovanému novým prvkem průměrné kvality. V této podobě již přechází vícestavová diagnóza ve spojitou formu a může být vyjádřena spojitou funkční závislostí na diagnostických signálech. [3]



Obrázek 13. Stimulační testovací diagnostika

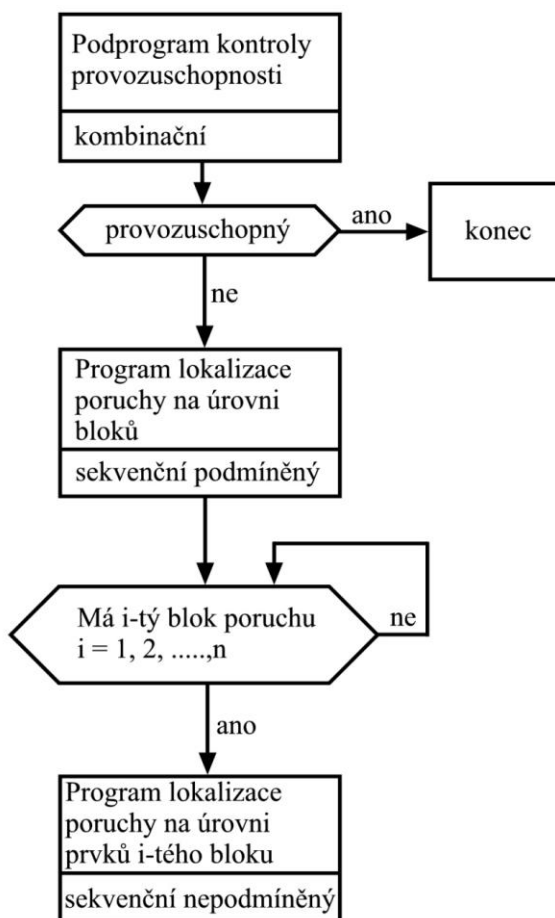


Obrázek 14. Funkční diagnostika

Proces vedoucí k detekci poruchy (získávání informace o tom, zda má objekt poruchu) a k lokalizaci poruchy (proces získání informace o tom, který subjekt objektu s přístupnou vnitřní strukturou má poruchu) se nazývá diagnostický proces.

Diagnostický proces obecně představuje mnohonásobné přivádění určených podnětů - vstupních signálů a mnohonásobné měření a analýzu odezev - výstupních signálů objektu na tyto podněty. Podněty přicházejí na diagnostický objekt (objekt diagnózy) buď od diagnostických prostředků, nebo jsou to vnější signály (ve vztahu k diagnostickému systému) určené pracovním algoritmem činnosti diagnostického objektu. Měření a analýza odezev objektu se vždy provádí pomocí diagnostických prostředků. Z hlediska zavádění zvláštních -testovacích- signálů z diagnostických prostředků budeme rozlišovat diagnostické systémy testovací (obr. 13.), jejichž zvláštností je, že mohou zavádět na diagnostický objekt testovací signály vytvářené v diagnostickém prostředku. Diagnostické systémy funkční neposkytují speciální testovací signály z diagnostického prostředku, ale na tento prostředek přicházejí pouze signály vytvářené činností diagnostického objektu (obr. 14.). [3]

Testovací diagnostické systémy obvykle zajišťují prověrky správnosti, prověrky provozuschopnosti a vyhledání poruch (všech nebo pouze těch, které narušují provozuschopnost) a pracují tehdy, pokud diagnostický objekt není v provozu. Použití testovacího diagnostického



Obrázek 15. Detekce a lokalizace poruchy

systému při provozu objektu je také možné, avšak v tomto případě testovací signály nesmí narušit normální činnost diagnostického objektu. Funkční diagnostické systémy se zpravidla využívají pro prověřování správné funkce a pro vyhledání poruch, které narušují normální funkci. Tyto systémy se používají zpravidla při činnosti objektu. V opačném případě je třeba imitovat provozní podmínky objektu, částečně je to imitace pracovních signálů. Proces diagnózy se může skládat z jednotlivých částí, každá z nich je charakterizována přiváděným testovacím nebo pracovním signálem a snímanou odezvou objektu. Tyto části budeme nazývat elementární prověrky objektu. Výsledkem elementární prověrky je odezva objektu. Detekce a lokalizace mají následnou posloupnost (obr. 15.). [3]

Potom formální popis diagnózy, tj. algoritmus diagnózy technického stavu objektu, představuje bezpodmínečný nebo podmíněný sled prověrek a pravidel jejich analýzy. Diagnózu můžeme chápat jako specifický proces řízení, jehož cílem je určení technického stavu objektu. Tento výklad dobře souhlasí se současným chápáním řízení jako procesu určení vhodných řídicích signálů působících na řízený objekt a kromě toho jasně určuje předmět výzkumu a úlohy technické diagnostiky z pozice obecné teorie řízení a kontroly. [3]

Program výběru prověrek technického stavu bývá zpravidla dán:

- **množinou prověrek** (většinou elementárních), přičemž jde o simultánní provádění určitého počtu prověrek nebo postupné provádění určité posloupnosti prověrek, jejichž pořadí nemá vliv na proces zpracování získaných informací - tzv. kombinační program

Poznámka: V případě kombinačního programu prověrek nemá případné pořadí jejich provádění žádný vliv na proces zpracování informace a i dílčí závěry jsou činěny až po skončení poslední prověrky;

- **posloupností prověrek** - jde o postupné provádění jednotlivých prověrek, při tom jejich sled je určen:
 - předem pevně stanoveným pořadím provádění prověrek - tzv. sekvenční nepodmíněný (pevný) program,
 - programem pro volbu pořadí prověrek, přičemž alespoň jednou je další sled provádění určen výsledky již provedených prověrek, je to tzv. sekvenční podmíněný (pružný) program

3. 8. Testování v reálném čase

Specifickou vlastností řízení v reálném čase je náhodný vstup signálů do řídicího systému. Tyto vstupní signály ale určují pořadí plnění jednotlivých funkčních programů, čímž vzniká nerovnoměrné zatížení procesoru. Existují tak na jedné straně časové intervaly, kdy v důsledku značného zatížení hlavního procesoru jsou z nedostatku strojového času realizovány pouze nejdůležitější funkční programy, na druhé straně ve většině času však není procesor úplně vytížen. Tím vzniká značná

časová rezerva, které může být využito ke zvýšení kvality a spolehlivosti činnosti řídicího systému, ke kontrole technického stavu zařízení a k diagnostice poruch. [3]

Organizace testů, probíhajících v reálném čase souběžně s pracovními programy, má v porovnání s prováděním testů v profylaktickém režimu své zvláštnosti:

- testy v reálném čase jsou zaměřeny na odhalování nejnebezpečnějších (havarijních) poruch systému. Tato skupina testů se provádí cyklicky v pracovním režimu řídicího systému automaticky s periodou určenou časovými možnostmi systému
- při návrhu testů a při testování je nutné respektovat možnosti operačního systému a charakteristiky procesoru řídicího počítače (ochrana paměti, možnosti a zvláštnosti práce v různých úrovních priority atp.)
- nutnost změny souboru testů během činnosti systému
- náročné požadavky na délku testu a dobu jejich provádění
- možnost testování v reálném čase jak v základním režimu systému, tak i v režimech lokalizace poruchy (na příkaz programu kontroly) a profylaxe (na příkaz operátora systému)

3. 9. Diagnostické podmínky

Předpokladem aplikace diagnostických metod a prostředků je splnění diagnostických podmínek, které dělíme na:

- obecné - platí pro všechny diagnostické objekty bez ohledu na typ činnosti
- zvláštní - platí pouze pro konkrétní typ diagnostické objekty a konkrétní typ činnosti

Mezi obecné diagnostické podmínky řadíme:

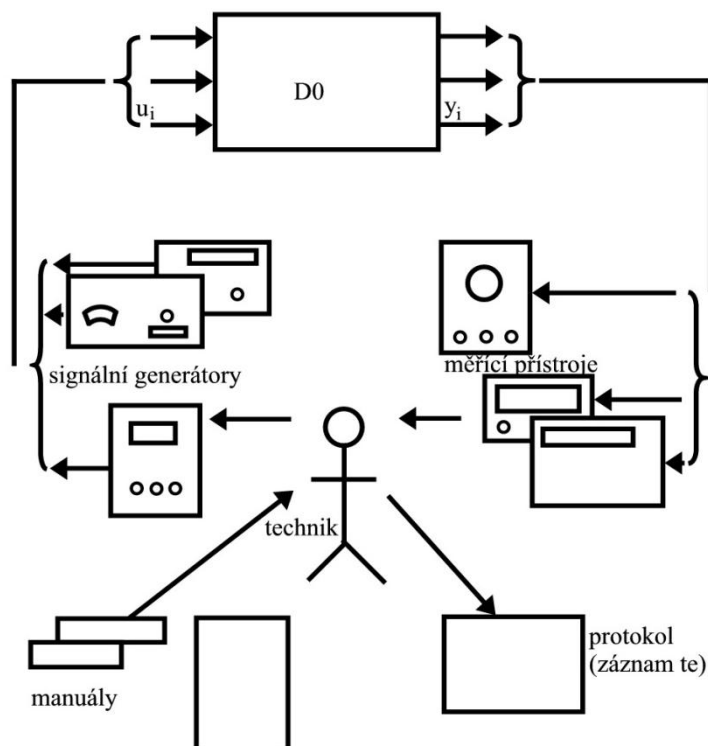
1. Stav (provozní schopnost diagnostických objektů) je kontrolován pomocí diagnostického zařízení určitého typu a požadované přesnosti tak, abychom mohli diagnostickou informaci (výchozí diagnostickou informaci) považovat za hodnověrnou
2. Diagnostické zařízení je bezporuchové během procedury diagnostiky
3. Poruchou diagnostické objekty rozumíme takový jeho stav, kdy parametry signálu nejsou pravdivé (nevyhovují předepsaným hodnotám, technickým podmínkám atp.)
4. Hodnotící kritérium správnosti signálů odpovídá zákonu vyloučení třetího, tj. má pouze dvě pravdivostní hodnoty (výroky):
 - pravdivý (správný, bezporuchový, v tolerancích apod.)
 - nepravdivý (nesprávný, v poruše, mimo tolerance apod.)
5. V diagnostickém objektu není použito zálohování
6. Procedura diagnostiky musí mít tyto základní vlastnosti:
 - jednoznačnost - při opakování za stejných okolních podmínek a stejného původního stavu diagnostické objekty musí mít stejné výsledky, tj. výsledek procedury musí být dán pouze stavem diagnostické objekty a ne vlastnostmi kontrolní soustavy (zkušenosti, schopnosti, znalosti atp.),

- opakovatelnost (stabilitu), která musí umožňovat nesčíslněkrát opakovat proceduru diagnostiky, tj. procedura musí obsahovat jasně a přesně formulovaná pravidla prováděná v definované posloupnosti
- 7. Vnější podmínky činnosti diagnostických objektů jsou konstantní a neměnné, to znamená, že jakákoliv změna diagnostických signálů diagnostické objektů je způsobena pouze změnou stavu diagnostických objektů
- 8. Nezbytné vstupní signály na nejvyšší diagnostické úrovni mají pravdivostní hodnotu pravdivost
- 9. Diagnostický objekt neobsahuje zpětnovazební obvody. V opačném případě musí existovat možnost upravit měření diagnostických signálů

Mezi zvláštní diagnostické podmínky potom řadíme ty, které definují režim činnosti zařízení, určují nastavení regulačních prvků, zaručují ověření pravdivostních hodnot nezbytných vstupních signálů a podobně. [3]

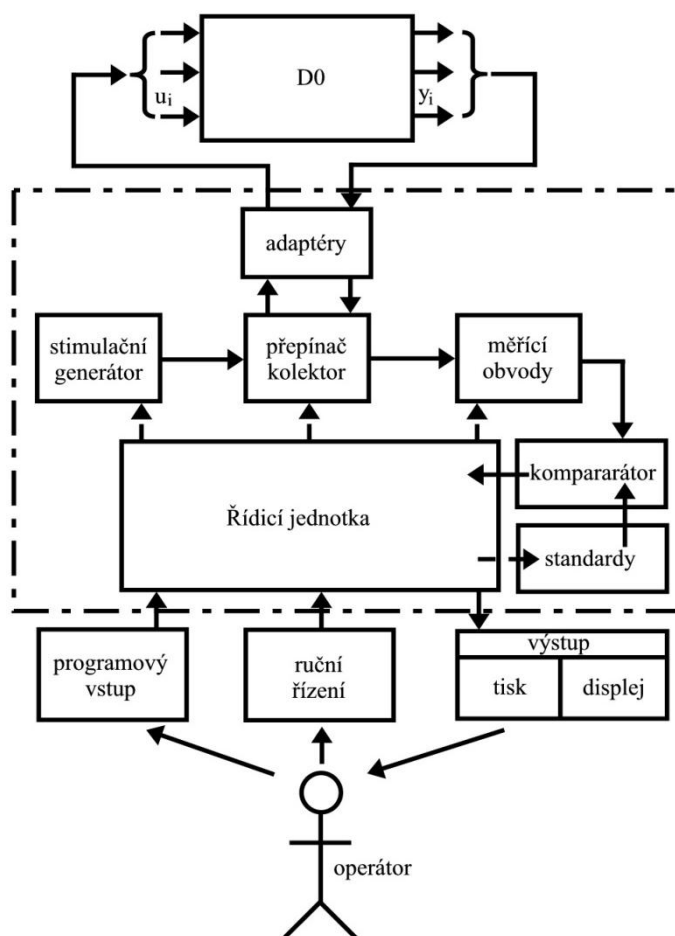
3. 10. Diagnostické prostředky

Praktická realizace diagnostických prověrek vyžaduje příslušné diagnostické prostředky, tj. na jedné straně technické vybavení - měřicí a diagnostická zařízení, na straně druhé vybavení programové - měřicí návody, předpisy testů, programy pro automatická diagnostická zařízení atp. Stupeň jak technického, tak programového vybavení přitom odpovídá typu diagnostiky -manuální (ruční) nebo automatické. [3]



Obrázek 16. Schéma manuální diagnostiky

Principiální schéma manuální diagnostiky je znázorněno na obr. 16. Diagnostický objekt je zde představován blokem se vstupy u_i a výstupy y_j , které po změření splývají s množinou diagnostických signálů s_k . Diagnostickou prověrku provádí technik, který v případě parametrické diagnostiky pomocí měřicích přístrojů měří a vyhodnocuje úrovně signálů a porovnává je s normativními a limitními hodnotami. Měření a vyhodnocování vykonává podle předpisu uvedeného v příručce pro provoz (manuálu), výsledky prověrky zachycuje písemně ve formě protokolu. V případě stimulační (testovací) diagnostiky technik navíc na vstupy diagnostického objektu přivádí stimulační signály z nejrůznějších typů signálních generátorů (univerzálních i speciálních). Opět i zde se řídí předpisy pro kontrolu a diagnostiku a výsledky jsou protokolovány. Z popisu diagnostického procesu je patrné členění prostředků. Technické jsou představovány měřicími přístroji a signálními generátory, programové tvoří předpisy pro provoz a technické popisy, popřípadě rozhodovací činnost technika. [3]



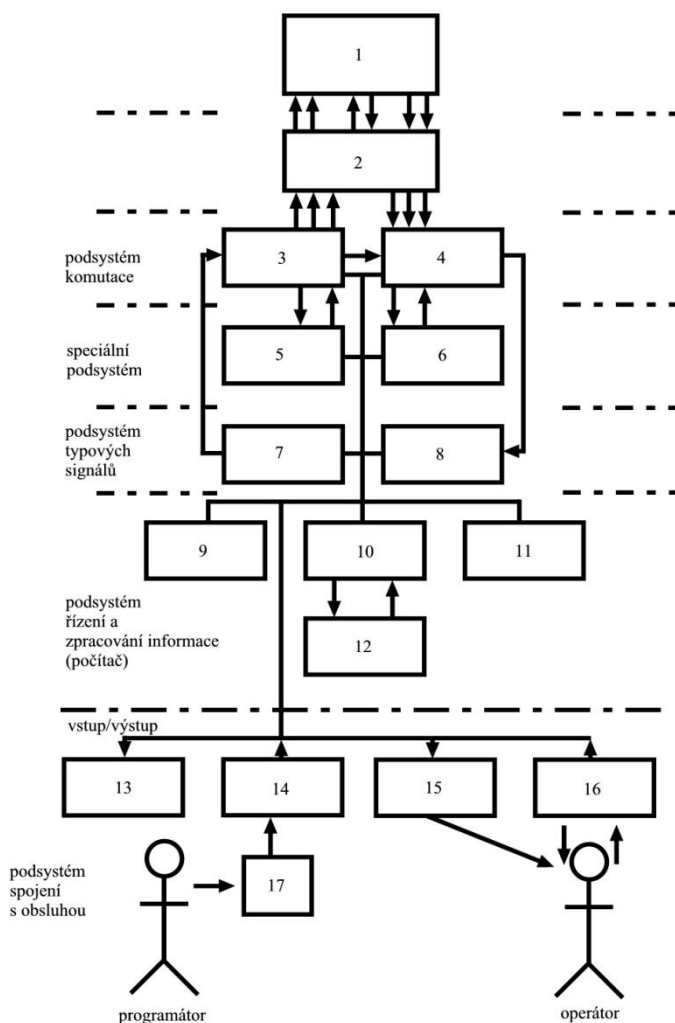
Obrázek 17. Schéma automatického diagnostického systému

Schéma automatického diagnostického systému (obr. 17.) představuje vyšší stupeň diagnostického procesu (a prostředků) v tom, že větší (až celou) část činnosti technika při testování nahrazuje činnosti automatu (řídicí jednotky) . [3]

Technik (operátor) řídící jednotce automatického diagnostického zařízení pouze zadává program buď automatickým programovým vstupem, např. pomocí děrné nebo magnetické pásky,

nebo ručně, např. pomocí tlačítkových vstupů, převážně jen při zadávání dílčích instrukcí. Proces spínání stimulačních generátorů a připojování měřicích obvodů je přes blok přepínače a adaptéru signálů řízen automaticky. Výsledky diagnostické prověrky (porovnáním údajů měření se standardními nebo limitními hodnotami) se zobrazují a tisknou na výstupních zařízeních. [3]

Obrázek 18. Ukazuje strukturu počítačového diagnostického systému. Proti předchozímu případu automatického diagnostického zařízení, které zahrnuje kromě řídicí (speciální automat) a vyhodnocovací jednotky i obvody přepínání, adaptéry a stimulační generátory (někdy se započítávají i jednotky vstupu a výstupu), je u počítačového systému zřetelně odlišen centrální člen - počítač, který tvoří podsystém řízení a zpracování informací. Ostatní činnosti jsou zajišťovány dalšími zařízeními, která vytvářejí oddělené podsystémy. Na straně vstup/výstup se zřetelněji rozčleňuje činnost obsluhy - programátora, který vytváří programové vybavení (ve fázi přípravy), a operátora, který se systémem komunikuje v uživatelské fázi. [3]



Obrázek 18. Struktura počítačového diagnostického systému

(1 – diagnostický objekt, 2 – spojovací kanály, 3 – komutace stimulačních signálů, 4 – selektor diagnostických signálů, 5 – stimulační generátory, 6 – obecné převodníky, 7 – generátory typových signálů, 8 – převodníky unifikovaných signálů, 9 – synchronizace, 10 – řízení vnitřní komunikace, 11 – vnitřní paměť, 12 – centrální procesor, 13 – vnější paměť, 14 – vstup programu, 15 – tisk, 16 – pult operátora, 17 - program)

Pro bližší objasnění programového vybavení však ještě uvedme obecné schéma informačních toků v diagnostickém systému. Programové vybavení je v podstatě uloženo v pamětech: vnitřní - rezidentní obsahuje parametrickou diagnostiku, vnější paměť (pomalejší, ale s větší kapacitou) obsahuje programy stimulační diagnostiky (testovací). [3]

3. 11. Funkční vazby diagnostiky

Funkční vazby při diagnostice uvádí přehledně obr. 10. Výsledkem zjišťování současného technického stavu objektu (diagnostikované soustavy) je provozuschopnost (bezporuchový stav) nebo neprovozuschopnost (poruchový stav). Přítomnost poruchy vyvolá poruchovou signalizaci a následnou činnost diagnostického systému směřující k určení místa a druhu poruchy. Bližší určení poruchy slouží jako informace pro údržbu k žádosti o opravu a jako údaj pro evidenci a statistiku poruch. Z evidence analýzou mohou být zjišťovány příčiny poruch vedoucí k návrhům na úpravu konstrukce objektu (pro technický rozvoj), na změnu provozních podmínek a změnu výroby (údaje pro operativní řízení provozu). Diagnostický systém kromě vlastní diagnostiky v reálném čase může na základě sledování trendu změn provádět i predikci, tj. předvídání budoucího stavu objektu. Úloha diagnostické geneze je obsažena v analýze záznamu post mortem k lokalizaci poruchy. [3]

Popsaná obecná množina možných funkcí diagnostických systémů představuje výhled postupně vyvíjeného systému. V řadě případů se však úloha diagnostického systému omezuje pouze na poruchovou signalizaci. [3]

Z praktického hlediska proto rozeznáváme diagnostiku:

- provozní, která zajišťuje hodnocení okamžitého stavu objektu
- opravářskou, sloužící ke specifikaci poruchy (tj. místa a druhu poruchy)
- servisní, určující podmínky nutné údržby

Podle časového hlediska zařazení diagnostiky mluvíme o diagnostice periodické a průběžné tab. 1.

Forma	periodická	nepřetržitá
Časové zařazení	interval	nepřetržitě
Režim	podle plánu (režimu) diagnostický prvek	během pracovní činnosti objektu
Cena	nižší	vyšší
Stimuly (podmínky)	speciální (testy)	přirozené (okolí)
Mechanismus	porovnávání s předepsanou mezí	kontrolou hodnot (tolerance < >, atp.)
Použití pro	nižší nároky na spolehlivost	vysoce bezpečné systémy

Tabulka 1. Formy diagnostiky

Pro efektivní návrh a činnost diagnostického systému je výhodné, je-li jeho projekt součástí projektu řídicího systému. Možnost řešení úloh diagnostiky již při návrhu je dosud nedocněna, a to v podstatě ze dvou důvodů;

- nejsou dostatečně obecně rozpracovány metody technické diagnostiky pro použití v etapě projektu
- projektanti považují za hlavní a často jediný cíl vlastní návrh objektu a za druhořadou záležitost organizaci uvádění objektu do provozu a organizaci jeho obnovy (profylaxe a opravy)

Možnost vytvářet diagnostický systém již ve fázi projektu diagnostického objektu otevírá cestu k dosažení kvalitnější realizace diagnostického systému. [3]

Návrhy na zajištění diagnostikovatelosti musí být zpracovány již ve stadiu technického projektu ve formě konstrukční dokumentace, která je doplňkem technického rozboru na vývoj výrobku, jehož kontrola má být zajištěna pomocí vnějšího diagnostického prostředku. V návrzích musí být uvedeny druhy, úrovně a rozsahy stimulujících a kontrolovaných signálů a posouzeny možnosti zajištění kontrolovatelnosti. Cílem aplikace těchto požadavků je vytváření předpokladů pro zavedení nových metod údržby u nově vyvíjených výrobků. Takto zpracovaných materiálů je jak součástí dokumentace vlastního zařízení, tak i podkladem pro vývoj diagnostického zařízení. Praktické používání takto zpracovaných materiálů mimo to sleduje vytvoření pracovních vztahů mezi zákazníkem, konstruktérem výrobku a řešitelem diagnostického zařízení. [3]

V průběhu vývoje a výroby a provozního využití jsou charakteristiky kontrolovatelnosti rozpracovány a v konečné fázi jsou základním podkladem pro zpracování předpisu pro provoz a údržbu diagnostikovaného zařízení, ale i celého diagnostického systému. Při projektování a řešení kontroly a diagnostiky kteréhokoliv objektu se tedy zabýváme těmito základními otázkami:

- co se bude kontrolovat? - objekt kontroly, jeho spolehlivost, vhodnost pro kontrolu
- jak bude kontrola realizována? - metody kontroly a předvídání technického stavu
- jaké jsou prostředky kontroly? - organizace a schéma kontrolních zařízení, optimalizace těchto zařízení

Volba určitého typu diagnostického zařízení závisí především na:

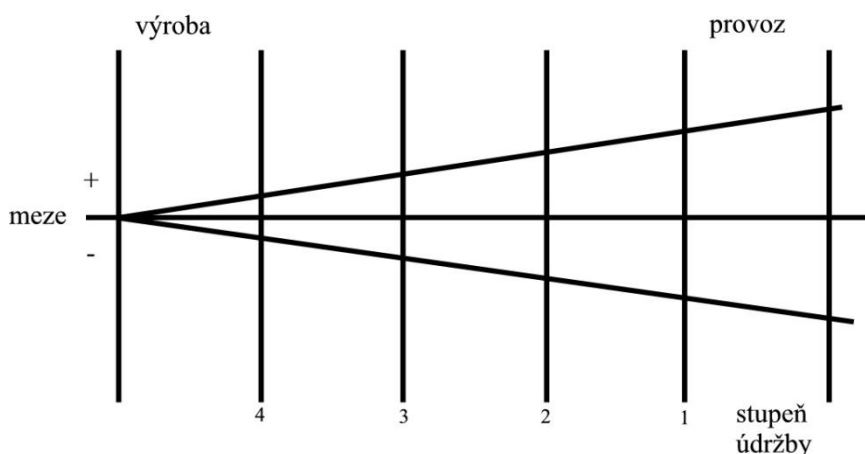
- složitosti kontrolovaného zařízení — diagnostického objektu
- přípustné ztrátě času na prověrku
- hloubce prověrky, množství parametrů
- objektivnosti prověrky, závisí na přístrojové a metodické věrohodnosti výsledků měření

3. 12. Diagnostika a racionalizace údržby

Cílem údržby je dosáhnout maximální použitelnosti výrobku za minimálně možné náklady s ohledem na jeho provozní podmínky. Životním faktorem jsou podmínky prostředí, ve kterých je zařízení provozováno, a podle toho se také řídí údržba. Cíle údržby jsou v podstatě vyjádřeny tím, jaké testy a údržbářské činnosti jsou prováděny na jednotlivých úrovních:

1. První stupeň údržby je ten, který se zabývá funkčními testy a testem provozuschopnosti prováděnými bez demontáže výrobku. Diagnostické testy jsou omezeny na identifikaci nutnosti seřízení nebo výměny jednotek, které vykazují chybové odezvy.
2. Druhý stupeň údržby představuje filtr pro ty jednotky, které byly diagnostikovány jako poruchové na prvním stupni.
3. Třetí stupeň zahrnuje diagnostiku poruch a opravu těch jednotek, jejichž oprava je z ekonomického hlediska žádoucí a je mimo rozsah oprav na úrovni druhého stupně.
4. Čtvrtý stupeň údržby v řadě případů je zajišťován u výrobce příslušného zařízení a pokrývá generální opravy nebo přestavby kompletních výrobků nebo sestav.

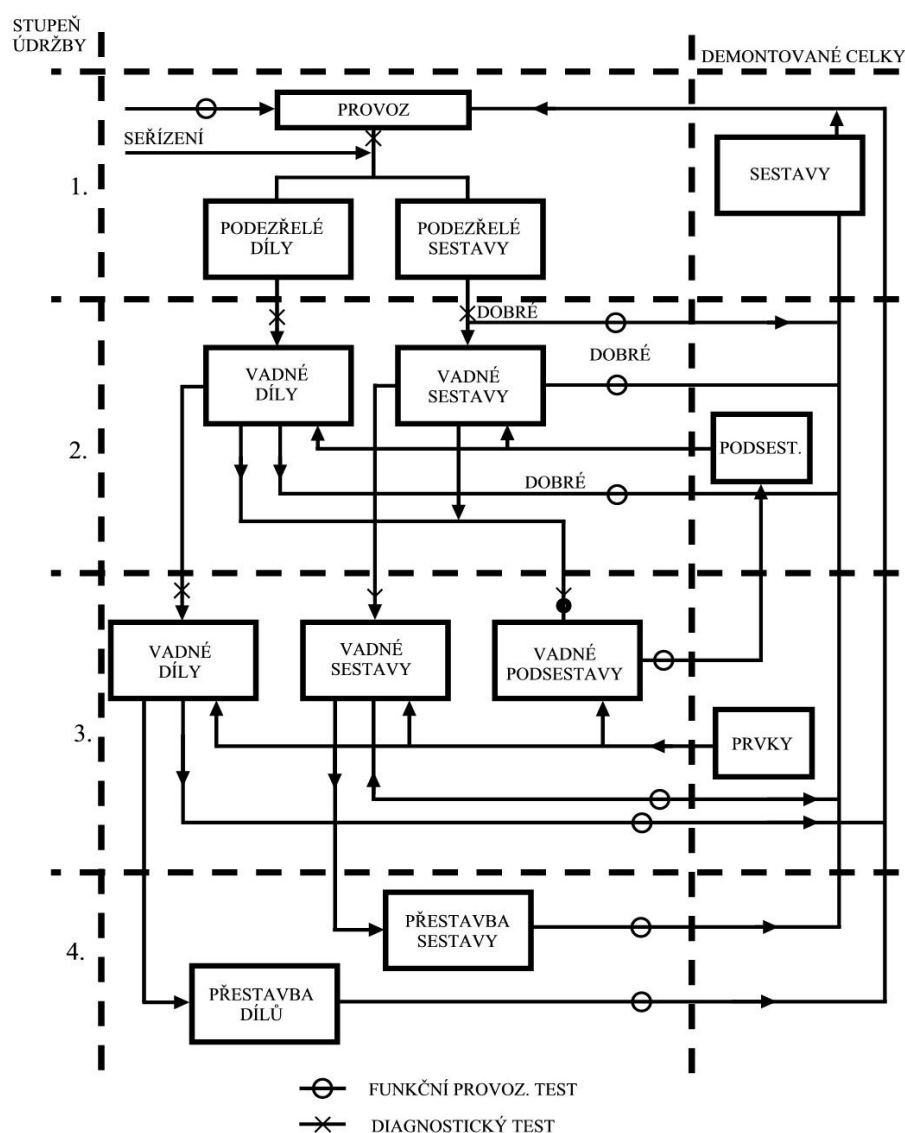
Ve většině případů se uplatňuje klínové rozložení tolerancí pro provozní parametry na různých stupních údržby (obr. 19.) Na výrobním (čtvrtém) stupni mohou být tolerance tak těsné, jak je to prakticky možné s ohledem na konstrukční požadavky a výrobní možnosti. Tento přístup nejenom uznává větší těžkosti s měřením v provozních (polních) podmínkách, ale také redukuje možnost přefazení dobrého výrobku do vyššího stupně údržby.



Obrázek 19. Klínové rozdělení mezí kontrolovaných parametrů na různých stupních údržby

Provozy pro jednotlivé stupně údržby mohou být spojovány nebo kombinovány tak, aby pokryly specifické požadavky určitého výrobku. Typické uspořádání je znázorněno na obr. 20. Optimální sled činností pro jednotlivé případy bude kompromisem mezi požadavkem na údržbu a ekonomickými úvahami vyplývajícími z dostupnosti testovacího zařízení, obsluhy, náhradních dílů a technických informací nutných pro provoz účinného systému údržby. Tento poslední požadavek je základní částí celého systému. Technické informace musí být k dispozici ve vhodné formě a musí zahrnovat technický popis, testovací programy, seznamy náhradních dílů, spolehlivostní data, instrukce pro modifikované výrobky, testovací a opravářské postupy. [3]

Výběr metody údržby je do značné míry závislý na stupni poznání spolehlivosti objektu. Nezávisle na používané metodě je rozsah a obsah údržby výsledkem kompromisu mezi snahou po co nejvyšší spolehlivosti na jedné straně a výši potřebných nákladů na údržbu na druhé straně. [3]



Obrázek 20. Typický tok údržby

Tyto náklady jsou závislé na:

- délce prostoje
- době potřebné ke zjištění příčiny poruchy
- době potřebné pro výměnu vadného dílu nebo opravu
- době potřebné pro přezkoušení provozuschopnosti
- připravenosti náhradních dílů
- zručnosti a znalosti personálu
- organizačních vlivech

Úkolem údržby je vyhnout se kritickým důsledkům poruch. Pro snazší zvládnutí takového úkolu byla vyvinuta řada metod, pomůcek a zařízení. S rostoucí složitostí objektů se pojetí údržby v posledním desetiletí radikálně změnilo. Na jakých principech spočívá tato základní změna, je možné ukázat na dvou možných přístupech k údržbě. [3]

3. 13. Klasický způsob údržby

Dosavadní, tzv. klasické způsoby údržby vycházejí z těchto předpokladů:

- u zařízení roste s provozní dobou opotřebení, tím klesá odolnost proti poruše a po určité provozní době dojde k poruše v určené funkci
- systém preventivních prohlídek umožňuje zjišťovat stav zařízení a odstraněním zjištěných nedostatků se periodicky obnovuje původní spolehlivost
- všechna zařízení objektu mají vlastnosti odpovídající postupnému opotřebení, a proto jsou používány jednotné postupy ke stanovení intervalů a náplní prohlídek

Dlouhodobá praxe ukázala, že uvedené vlastnosti má jen omezený počet zařízení nebo jejich částí. [3]

Klasický způsob údržby nedovoluje využít individuální vnitřní vlastnosti jednotlivých zařízení, která se od sebe výrazně liší jak po stránce funkční, konstrukční, tak i z hlediska spolehlivostních charakteristik. Proto také účinnost některých úkonů preventivních prohlídek je nízká, popřípadě nemá preventivní charakter. Velmi znatelné je to u zařízení, kde se nevyskytuje závislost opotřebení na čase takového druhu, aby dosavadními prostředky byla zjištěna změna stavu. Preventivní prohlídky nebo přezkoušení nemohou v těchto případech zajistit udržování požadované úrovně spolehlivosti a výsledkem jsou poruchy, jejichž výskyt v čase je určen vlastním zákonem rozdělení, nezávislým na intervalech a četnosti plánovaných prohlídek. Obnova spolehlivosti se pak prakticky neprovádí systémem plánované údržby, ale spadá do oblasti neplánované údržby. [3]

3. 14. Progresivní způsob údržby

Tento způsob vymezuje intervaly, rozsah a nezbytnou kvalitu prací na objektu, jeho sestavách a dílčích celcích, podmiňující udržení funkční způsobilosti po celou dobu provozu až do vyčerpání ekonomicky využitelné životnosti v podmínkách konkrétního provozovatele. Tyto nové programy údržby vycházejí z poznání skutečných vlastností udržovaných zařízení a obsahují úkony, které umožňují buď plynule kontrolovat stav zařízení za provozu a provádět zásahy jen tehdy a tam, kde je to maximálně účinné, nebo využívají závěrů statistických rozborů dosahovaných provozních výsledků. U tohoto druhého přístupu se tak postupně prodlužují nebo zcela ruší pevně stanovené intervaly oprav a kontrol, a to úměrně ke skutečně dosahovaným hodnotám provozní spolehlivosti. [3]

Nezbytným předpokladem k zavedení nových metod je znalost skutečných vlastností udržovaných zařízení, znalost vlivu provozních podmínek, určení parametrů charakterizujících okamžitý stav zařízení, stanovení metod kontroly, dostupnost vhodných diagnostických zařízení, zavedení sběru a zpracování informací o spolehlivosti a efektivnosti provozu a řada dalších organizačních opatření. [3]

3. 15. Skladba progresivních programů údržby

Definujme nejprve cíle účinného programu údržby:

- zabránit zhoršení vlastních konstrukčních úrovní spolehlivosti objektu a jeho částí, a tím udržet potřebnou úroveň provozní spolehlivosti a bezpečnosti
- zajistit tyto úkoly s vynaložením minimálních nákladů

Tyto cíle uznávají, že programy údržby nemohou napravit nedostatky vlastní konstrukční úrovně spolehlivosti objektu. Program údržby může pouze zabránit zhoršování těchto úrovní spolehlivosti. Jestliže se zjistí, že vlastní konstrukční úroveň je neuspokojivá, je pro její zlepšení nezbytné konstrukčně technické řešení. [3]

Program údržby jako celek se skládá ze dvou typů úkolů:

1. skupina plánovaných úkolů, které musí být vyplněny v určitých intervalech. Cílem těchto úkolů je zabránit zhoršování vlastní konstrukční úrovně spolehlivosti objektu,
2. skupina neplánovaných úkolů, které vyplývají z:
 - plánovaných úkolů
 - hlášených závad (uváděných zpravidla obsluhou objektů)
 - sledování a kontroly dosahované úrovně provozní spolehlivosti

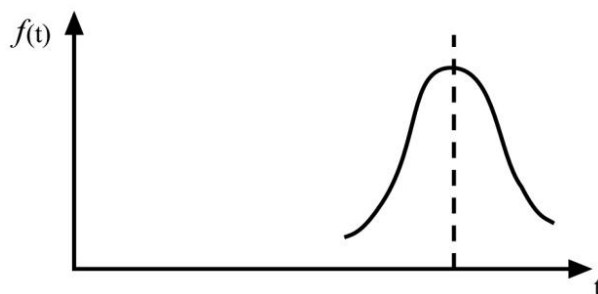
Cílem těchto neplánovaných úkolů je obnovit vlastní konstrukční úroveň spolehlivosti určitého objektu nebo jeho elementu. [3]

Účinný program údržby je takový, který plánuje pouze úkoly nezbytné k dosažení stanovených cílů. Neplánuje dodatečné úkoly, které zvyšují náklady na údržbu bez odpovídajícího vzrůstu spolehlivosti.

Program údržby obecně obsahuje jeden nebo více následujících primárních způsobů údržby:

Pevné časové lhůty (Hard Time Limit) - HT

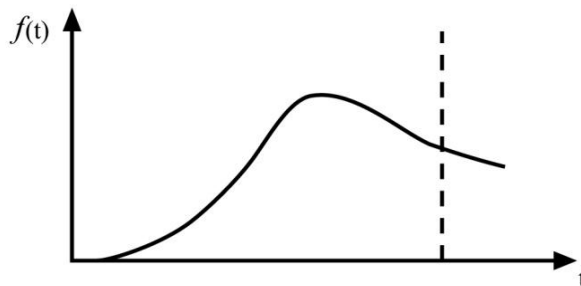
Maximální časový interval pro vykonání údržbářských úkonů. Tyto intervaly obvykle odpovídají době do generální revize, mohou však odpovídat i životnosti částí a dílčích celků [3].



Obrázek 21. Rozdělení poruch výrobků s výměnou podle pevných časů /HT/

Podle stavu (On Condition) - OC

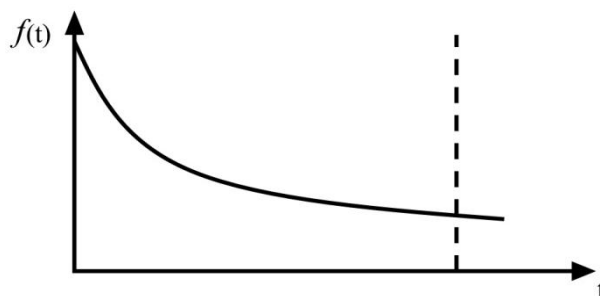
Opakované prohlídky nebo zkoušky, jež mají určit stav dílu, soustav nebo částí konstrukce



Obrázek 22. Rozdělení poruch výrobků s výměnou podle skutečného stavu /OC/

Sledování stavu (Condition Monitoring) - CM

Pro položky, jež nejsou udržovány v pevných časových lhůtách nebo podle stavu. Sledování stavu je uskutečňováno vhodnými prostředky, jež má provozovatel k dispozici pro nalezení a řešení problémových oblastí. Škála možností sahá od zpozorování neobvyklých jevů až po speciální analýzy činnosti zařízení.



Obrázek 23. Rozdělení poruch výrobků s výměnou podle sledovaného stavu /CM/

3. 16. Sestavování programu plánované údržby

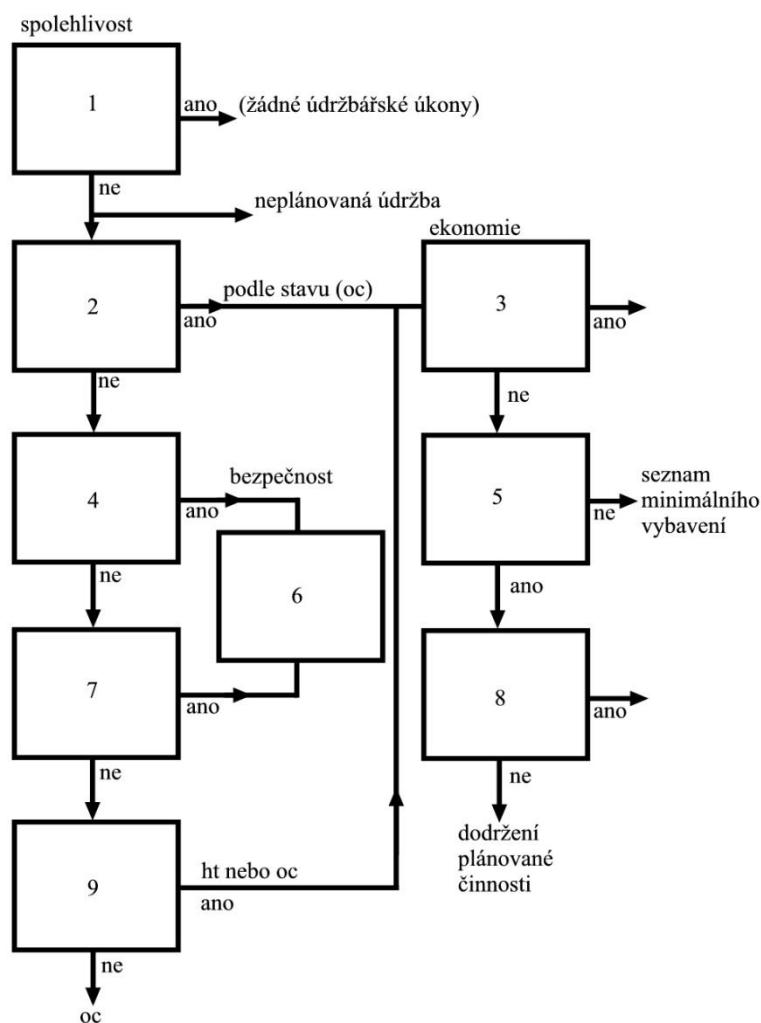
Tato činnost vyžaduje velký počet rozhodnutí týkajících se toho:

- které jednotlivé úkony jsou nezbytné (obsluha, prohlídka, zkoušení, kalibrace, náhrada)
- jak často by měly být vykonávány
- jaká zařízení jsou pro to nezbytná
- kde by měla být tato zařízení umístěna
- které úkony by měly být z ekonomických důvodů uskutečňovány současně

Pro stanovení obsahu programu plánované údržby detailů a soustav se užívají rozhodovací diagramy. Diagramy jsou bází, ze které vycházejí postupy zhodnocení každé soustavy a jejich důležitých detailů. Jsou při tom využívány příslušné dostupné technické údaje. Každé zhodnocení je v podstatě založeno na znalosti funkcí a poruchových mechanismů soustav a detailů. Cílem je:

- identifikace soustav a jejich důležitých detailů
- identifikace funkcí, poruchových mechanismů a účinků poruch
- definování úkonů, které mají vzhledem k řízení provozní spolehlivosti potenciální účinnost
- odhad vhodnosti plánování úkonů s potenciální účinností

Je třeba poznamenat, že existuje rozdíl mezi potenciální účinností úkonu a vhodností jeho zařazení do programu plánované údržby. O tom, zda mají být úkony s potenciální účinností do počátečního programu údržby nového výrobku zařazeny, se ve zde uváděném přístupu s definitivní platností rozhoduje na základě výsledných vazeb v rozhodovacích diagramech. Rozhodovací diagramy jsou celkem tři (obr. 24.). Část I slouží k určení úkonů plánované údržby, jež mají vzhledem k řízení provozní spolehlivosti potenciální účinnost. Vymezují se úkony, které mohou být provedeny.



Obrázek 24. Rozhodovací diagram pro stanovení programu údržby

(1- je zvýšení rychlosti k poruše zjistitelné rutinním sledováním obsluhou?, 2- je náchylnost k poruše zjistitelná údržbou bez demontáže nebo zkouškou času?, 3 – ukazují reálné a použitelné údaje na vhodnost plánovaného úkonu?, 4 – ukazují reálné a použitelné údaje na vhodnost plánovaného úkonu?, 5 – zabráňuje porucha funkční činnosti?, 6 – úkony zajišťující spolehlivost v pevných lhůtách (ht) nebo podle stavu (oc), 7 – je funkce skrytá z hlediska obsluhy?, 8 – je čas na odstranění poruchy delší limit?, 9 – existuje nepřímá úměra mezi stářím a spolehlivostí?)

Část II a III slouží k odhadu vhodnosti plánování úkonů s potenciální účinností. Úkony části II musí být provedeny proto, aby se zabránilo přímému nepříznivému vlivu na provozní bezpečnost a k zajištění dostupnosti skrytých funkcí. Úkony uvedené v části III by měly být vykonány z ekonomických důvodů. Tyto postupy byly nejdříve uplatněny při sestavování programů údržby letadel. Právě tak i nejnovější metoda MSG-3 pro soustavy a hnací jednotky začíná od letové posádky, tj. „Je výskyt poruchy zjištěl posádkou?“. Znamená to, že ve skutečnosti zde je zahajována etapa logického postupu na úrovni soustav a pokračuje směrem dolů na nižší konstrukční celky. [3]

Logický postup analyzuje poruchy a vyúsťuje do pěti důsledků v kategorii poruch:

- bezpečnost
- ekonomie — vliv na provoz
- ekonomie — vliv neprovozního charakteru
- skrytá funkce — vliv na bezpečnost
- skrytá funkce — vliv na ekonomii

Po zjištění důsledků poruchy následuje volba účinného a odpovídajícího úkonu. S tím souvisí poznatek, že metoda MSG-3 je zaměřena na údržbové úkony, zatímco dřívější metoda MSG-2 byla orientována na sestavení postupu údržby. Tím je také možné vyloučit určité nejasnosti ve výkladu různých postupů, zvláště OC (podle stavu) a CM (sledování stavu). Základní typy údržbových úkonů jsou:

- mazání nebo technická obsluha
- sledování letovou osádkou
- provozní kontrola (vyhledání poruch)
- prohlídka, funkční zkouška
- obnovení (oprava)
- vyřazení

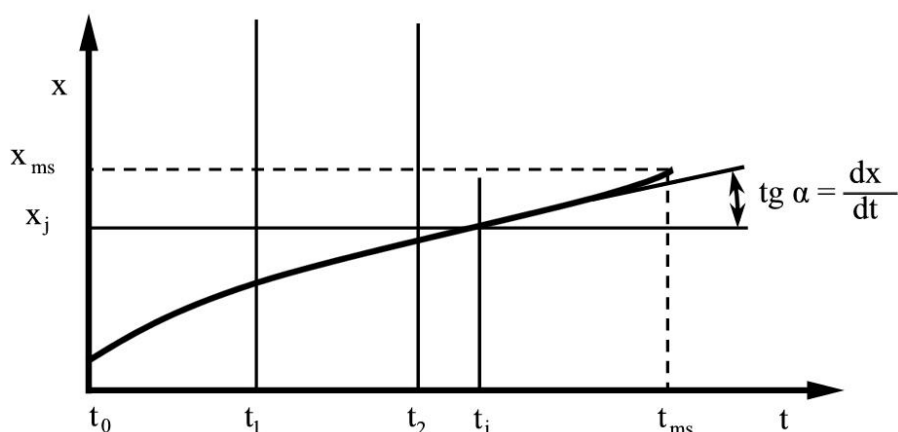
Některé přednosti metody sestavení programu údržby MSG-3 ve vztahu k dřívějším metodám:

- posloupnost rozboru poruch od shora dolů
- zpracování vícenásobných poruch
- jasnější rozlišení mezi ekonomickou stránkou a bezpečností
- zavedení technické obsluhy a mazání jako části logických postupů
- uznání zjišťování poruch jako zvláštního postupu

Logické postupy vztažené na soustavy nebo hnací jednotky jsou podobné. Rozbor hnací jednotky zachází až do úrovně modulů, pokud důležité prvky nejsou rozlišeny ještě uvnitř těchto modulů. Pokud jde o určení intervalu úkonu, budou používány analytické údaje všude tam, kde to bude odpovídat. Pravděpodobně však budou tvořit základnu pro stanovení intervalů převážně naše empiricky získané zkušenosti na podobném zařízení nebo dobrý technický úsudek. [3]

3. 17. Stanovení diagnostických intervalů

Jednou z otázek moderních metod údržby je stanovení diagnostických intervalů, to je period mezi plánovanými opravami. Na rozdíl od dřívějších metodik plánování prohlídek a oprav podle pevných časů nebo při neplánované údržbě zásahem až po vzniku poruchy, je nyní snaha o optimální řízení intervalů mezi plánovanou údržbou podle stavu objektů. Znamená to, že empiricky stanovený diagnostický interval d (na základě spolehlivostní charakteristiky) se upravuje podle výsledků diagnózy. [3]



Obrázek 25. Stanovení frekvence diagnostických měření

Diagnostický interval d se nejčastěji určuje vyhodnocením frekvence diagnostických měření (platí nepřímá úměra) f_i na základě sledování určujícího diagnostického parametru x obr. 25. [3]
Platí

$$f_i = \frac{A}{(x_m - x_j)^B} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^C + D \quad (4)$$

kde A, B, C, D jsou empiricky zjištěné koeficienty volené tak, aby byla 95% jistota, že v intervalu nedojde k poruše,

x - je sledovaný parametr

x_m - mezní hodnota sledovaného parametru

x_j - hodnota parametru x v čase t_i

V některých případech je dostatečné určit diagnostické intervaly empiricky podle ekonomického hodnocení. Při tomto způsobu výpočtu využíváme údaje z provozu při zavádění technické diagnostiky. Zde se diagnostické intervaly určují na základě skutečného stavu v údržbě strojů. Empiricky stanovený diagnostický interval d_i , který je určen pomocí spolehlivostních charakteristik je na základě výsledků diagnóz upravován takto:

Jestliže

$$\frac{n_d}{n_u + n_p} > 1 \quad \text{realizuje se prodloužený provozní diagnostický interval} \quad (5)$$

$$\frac{n_d}{n_u+n_p} < 1 \quad \text{realizuje se zkrácený provozní diagnostický interval} \quad (6)$$

$$\frac{n_d}{n_u+n_p} \cong 1 \quad \text{realizuje se interval } d_i \quad (7)$$

kde n_d jsou měrné náklady na aplikaci diagnostiky
 n_u - měrné náklady na opravy (údržbu)
 n_p - měrné náklady na prostoje při údržbě

3. 18. Organizační otázky

Při plánování ekonomického údržbářského systému musí být, kde je to možné, uvažován celý život objektu. Údržba objektu musí být ovlivněna ukazateli spolehlivosti, udržitelnosti, testovatelnosti a ekonomickou rovnováhou mezi metodami opravy nebo výměny. Účinnost údržby v provozně využitelném životě výrobku závisí na stupni snížení požadavků na dobu pro údržbu, zručnosti personálu a ostatních požadavcích, nezbytných k provedení testů a oprav při zachování požadavků na provozní využitelnost objektu. U moderních výrobků doba a ostatní prostředky nutné pro testování představují velkou část údržby, a je proto logické řešit problém údržby a její účinnosti soustředěním pozornosti i na organizační otázky. [3]

Organizační schéma údržby a její začlenění do podnikové struktury je téma, které se, byť je to nesmírně závažné, vymyká zaměření této publikace. Cílem propracování všech uvedených vazeb je:

- zrychlit a zkvalitnit technickou obsluhu objektů a jednotlivých elementů, a tím snížit náklady na živou práci a zvýšit ekonomii provozu
- určit, který objekt nebo element je třeba vyměnit k dosažení správné činnosti (diagnóza), popř. určit, jaká je pravděpodobnost poruchy v jistém časovém intervalu (prognóza)
- zjednodušit činnost obsluhujícího personálu, a tím snížit požadavky na jeho školení a kvalifikaci
- umožnit objektivizaci a standardizaci postupů prověrek
- usnadnit registraci naměřených hodnot pro potřeby analýzy, statistických rozborů a tvorby dalších instrukcí
- omezit množství náhradních dílů, kterých je třeba k zabezpečení provozu při opravárenském systému výměnou dílčích elementů

3. 19. Ekonomické aspekty zavádění diagnostiky

Za hlavní problém rozborů efektivnosti údržby je třeba považovat změnu vztahů mezi tzv. primární a sekundární ekonomikou údržby. Primární ekonomika je charakterizována přímými náklady

na údržbu N_u nebo jejich relativizovaným přepočtem k pořizovací ceně zařízení N_p , tj. vyjádřením měrných nákladů na údržbu n_u , v %:

$$n_u = \frac{N_u}{N_p} \cdot 100 \quad (8)$$

Tato forma vyjadřování ekonomiky údržby vytváří obvykle první obraz o ekonomických proporcích údržbářského procesu. Ve vazbě na složité výrobky se však výrazně prosazuje druhá forma ekonomiky údržby. [3]

Sekundární ekonomika je charakterizována vztahem mezi vstupy (zdroji) údržby a jejími výstupy (výnosy). V praxi je nositelem těchto vztahů poměr mezi náklady na údržbu a prostoji pro údržbu. Tedy časovým fondem, který údržba spotřebovala pro svoji činnost. Dokonalejší představu poskytne číselné vyjádření prostojů ve ztrátě produkce. V nejjednodušší formě se tyto vztahy zobrazují pomocí indexu účinnosti údržby, což je empiricky konstruovaný ukazatel (autor J. W. Corder), který hodnotí provozní spolehlivost na základě vztahu mezi prostředky vynaloženými na péči o základní prostředky a výsledky plynoucími z jejich užití. Vlastní pracovní výsledky se při tom hodnotí podle prostojů zařízení pro potřeby péče o základní prostředky (opravy), a to sumárně pro plánované i neplánované výkony. [3]

Nejobvyklejší matematická formulace indexu má tvar:

$$n_u = \frac{1}{N_u \cdot n_u + Y \cdot p_p} \quad (9)$$

kde I_u je index účinnosti údržby
 N_u - celkové náklady na údržbu
 n_u - měrné náklady na údržbu (%)
 Y - cena produkce ztracená prostoji pro údržbu všech druhů
 p_p - podíl prostojů pro údržbu z celkového časového fondu stroje (%)

Vzorec má sice empirický charakter, ale relativně jednoduše a v časové ose i s dostatečnou přesností zobrazuje vývoj celkové efektivnosti údržby. Jeho výhodou kromě jednoduchosti je i použitelnost jak pro individuální stroje, tak i pro soubory různých strojů. Pro uvedenou formu vzorce je důležitá i skutečnost, že citlivě reaguje na absolutní vliv dobré nebo špatné údržby na celkovou efektivnost využití stroje. Komplexní rozborů pracují s rozsáhlejšími soubory údajů, které jsou však specifické pro každý druh stroje nebo zařízení a umožňují posuzovat problém z nejrůznějších hledisek. [3]

Běžné charakteristiky spolehlivosti strojů jsou obvykle stanoveny jako funkční závislosti doby provozu. Pomocí těchto charakteristik lze sice stanovit normativ doby provozu, nikoli však hledaný normativ technického stavu obecně. K tomuto účelu je třeba experimentálně získat charakteristiky spolehlivosti a další ekonomické charakteristiky v závislosti na náhodně proměnné hodnotě ukazatele technického stavu. Základní podmínkou získání uvedených spolehlivostních a ekonomických charakteristik je realizace experimentu s výběrovými soubory sledovaných strojů a jejich dílů. [3]

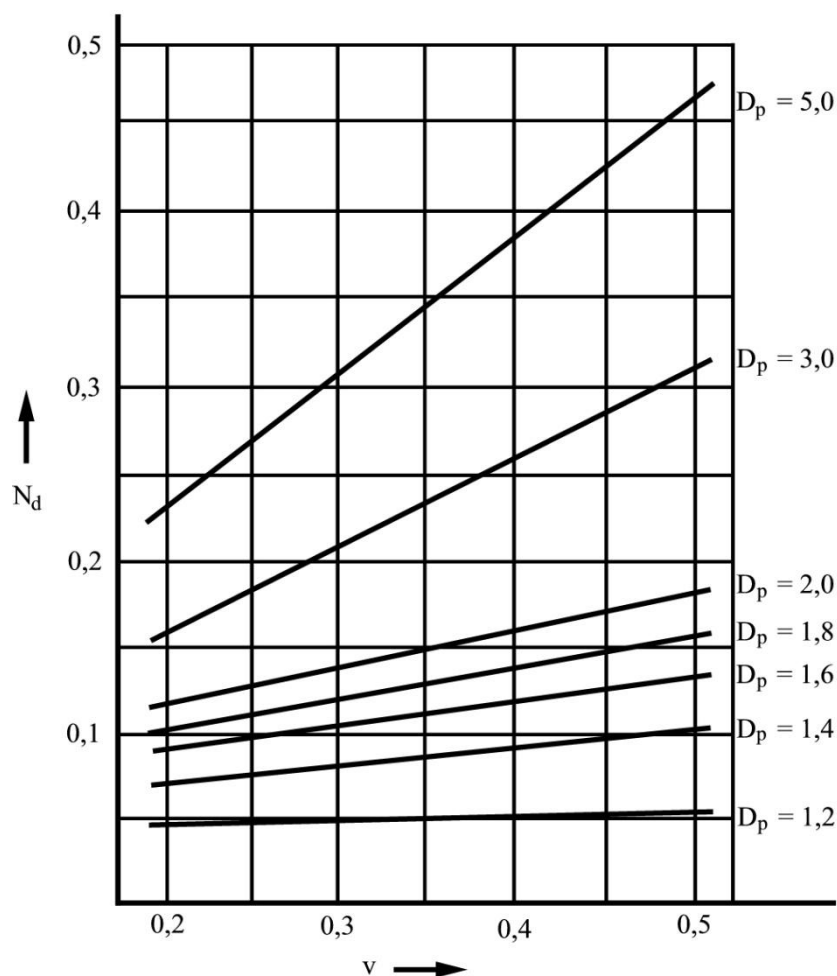
Za tímto účelem je nezbytně nutné aplikovat technickou diagnostiku již v průběhu spolehlivostního experimentu s cílem získat spolehlivostní charakteristiky v závislosti na technickém stavu strojních prvků. U nově vyvinutých strojů přicházejících do provozu budou z počátku, vzhledem ke krátké zkušební době, získané charakteristiky málo přesné a mnohdy budou pouze odhadnuty na základě dědičnosti konstrukce. I v tomto případě však je nejen možné, ale i nutné charakteristiky využít a připustit určitou chybu výsledku. Postupem času, tak jak budou spolehlivostní charakteristiky zpřesňovány, budou stále přesnější i optimalizační výpočty pro řízení procesu obnovy konkrétních strojů nasazených do provozu. Vzhledem k nutné obnově všech typů strojů se uvedený způsob získávání a soustavného zpřesňování spolehlivostních charakteristik jeví jako zcela normální běžný proces trvalého charakteru. [3]

Stanovíme-li jako normativ pro obnovu dobu t_0 , dojde s pravděpodobností $P(t_0)$ k poruše před obnovou, a tím i k příslušným havarijním ztrátám. S pravděpodobností $1 - P(t_0)$ dojde k předčasné obnově, a tím ke ztrátě části nevyužitého technického života prvku. Vhodnou volbou hodnoty t_0 lze dosáhnout minimální sumy obou těchto ztrát. Zvolíme-li místo doby provozu t jinou náhodnou veličinu, obecně ukazatel z , získáme odpovídající charakteristiky $P(z)$. Pokud bude ukazatel technického stavu vhodně zvolen, lze předpokládat, že náhodná proměnná bude mít malý rozptyl. Také zde můžeme nalézt normativ pro obnovu S_0 , při němž budou ztráty $z_t(S_0)$ minimální. Přestože jde v prvním i druhém případě o stejný prvek, lze snadno usoudit, že vlivem menšího rozptylu bude v uvedeném příkladu suma zmíněných ztrát při použití normativu S_0 menší než při použití normativu t_0 . [3]

Praktické optimalizační výpočty jsou zatím prováděny pouze pro důležité stavební skupiny strojů. Při těchto výpočtech jsou obvykle vzaty za základ zjednodušující podmínky:

- základem je periodičnost diagnostiky
- průběh opotřebení je přibližně lineární
- průběh zabíhání je zanedbatelný
- pro distribuční funkce libovolných stavů opotřebení a pro zbytkovou dobu využití platí zákon normálního rozložení
- mez provozní bezpečnosti je po celou dobu používání stroje konstantní
- překročení meze vyřazení platí jako porucha
- preventivní opravy se provádějí bezprostředně po diagnóze, jestliže byla překročena mezní míra provozní bezpečnosti

Z optimalizačních výpočtů je možno získat řadu důležitých a všeobecně platných výroků, které zde krátce uvedeme. Na obr. 26 je zobrazena zjištěná závislost přípustných normovaných nákladů na diagnózu N_d na variačním koeficientu mezní doby využívání V . S rostoucím variačním koeficientem jsou přípustné vyšší náklady na diagnózu. Tato tendence je zvláště výrazná při velkých hodnotách poměru D_p , tj. při vysokých nákladech způsobených poruchami. To znamená, že má technická diagnostika zvláště velký význam pro takové díly a stavební skupiny, jejichž doba mezního využití ovlivněná konstrukcí má velký rozptyl a při jejichž poruchách je nutno počítat s velkými ztrátovými náklady. [3]



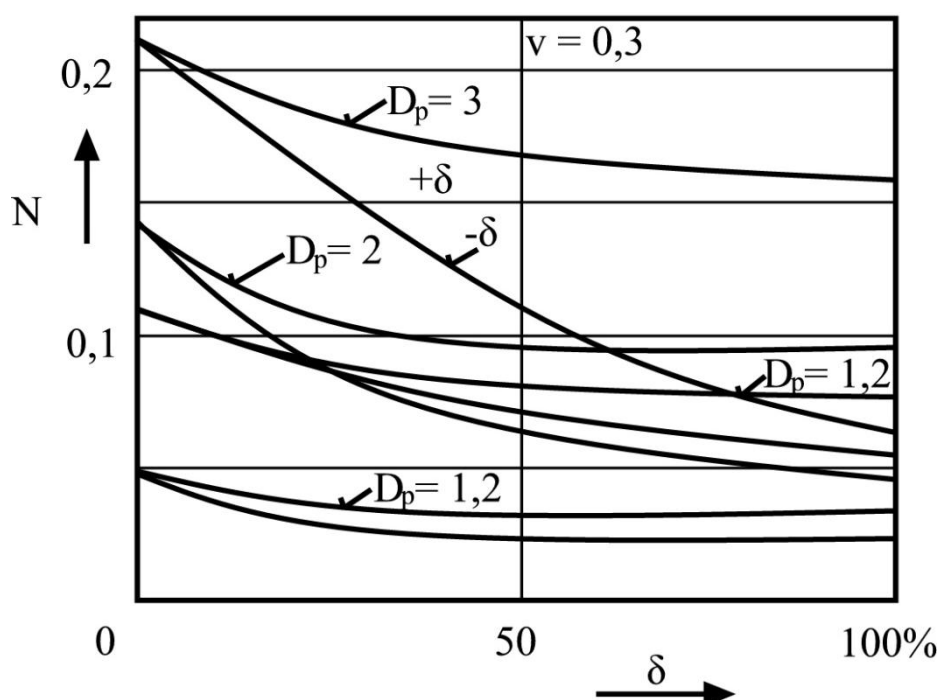
Obrázek 26. Vliv variačního koeficientu na maximálně přípustné náklady na diagnózu

$$D_p = \frac{\text{náklady jedné poruchy}}{\text{náklady plánované opravy}}$$

$$N_d = \frac{\text{přípustné náklady diagnózy}}{\text{náklady jedné plánované opravy}}$$

v – variační koeficient mezní doby využívání

Dále se ukazuje, že odchylky meze provozní bezpečnosti od optimální hodnoty mají velký vliv na efektivnost diagnostických opatření. Je to způsobeno tím, že při přiblížení meze provozní bezpečnosti k mezi vyřazení se vyskytuje větší podíl neplánovaných oprav, majících značný vliv na náklady. Z této závislosti vyplývá, že je nutno věnovat zvláštní pozornost přesnému zjišťování průběhů opotřebení a mezních hodnot vyřazení jako podkladů pro diagnózu poškození. Značný vliv mají chyby v diagnóze. Na obr. 27. jsou jako parametr pro náhodné chyby ve zjišťování technického stavu vyneseny v % směrodatné odchylky chyb měření mezní hodnoty vyřazení. Na základě obdobných vyšetřování je možno rozhodnout, zda je použitelná diagnostická metoda s určitými náklady a s určitými chybami či nikoli. [3]



Obrázek 27. Působení náhodných chyb diagnózy na přípustné náklady na diagnózy pro $v = 0,3$

Z dosud prováděných vyšetřování užítu technické diagnostiky vyplývá, že se dá v současné době očekávat největší ekonomický efekt zjišťováním provozních parametrů, jakož i používáním technické diagnostiky k hledání chyb v havarijních případech a ke stanovení potřebného rozsahu oprav před plánovanými opravami strojů. Tím se dá dosáhnout značných časových a materiálových úspor včetně úspor provozních hmot. Ke zvýšení efektivity technické diagnostiky je v první řadě třeba snížit časy potřebné pro diagnózy, zvláště pak pomocných časů, nezbytných pro připojování diagnostických přístrojů. Kromě toho je třeba vyvinout snadno obsluhovatelné, do značné míry univerzální diagnostické přístroje, které by rostoucí měrou umožňovaly postupnou automatizaci celého procesu diagnózy. Diagnostické přístroje je nutno používat podle exaktně daných postupů. U komplikovaných strojů je třeba pracovat s diagnostickými algoritmy a automatizovanými diagnostickými systémy. Efektivnost použití takového zařízení je dána středním počtem poruch určených prozkouškami podle vztahu:

$$\Delta K = \frac{\sum_{i=1}^N (N_2 - N_1)}{N} \quad (10)$$

kde K - je koeficient efektivity automatizace

N_2 - počet odhalených poruch po nasazení automatizovaného diagnostického systému

N_1 - počet poruch odhalených před začleněním automatizovaného diagnostického systému

i - pořadové číslo (index) bloku

N - celkový počet bloků

Platí, že pro $\Delta K \leq 0$ je automatizovaný diagnostický systém neefektivní.

[3]

4. Spolehlivostní parametry při měření

4.1. Parametry stykačů

Pro dané měření mi společnost ČEZ dodala 4 stykače pro měření parametrů. Jelikož tyto stykače jsou staršího data výroby, nebylo možné sehnat úplnou dokumentaci ke stykačům. Jednalo se o dva typy stykačů, kde byl jeden nepoužívaný a druhý z provozu.

Stykač C72 - 75A

Hlavní kontakty		
Jmenovité izolační napětí U_i	690	(V)
Jmenovitý tepelný proud I_{th}	95	(A)
Jmenovitý pracovní proud I_e v AC-1 pro 400 V	85	(A)
Jmenovitý pracovní proud I_e v AC-3 (AC-4) pro 400 V	72 (20)	(A)
Max. výkon spínaného motoru v AC-3 (AC-4)		
220-230V	22	(kW)
380-400 V	37	(kW)
500 V	45	(kW)
660-690 V	45	(kW)
Ovládání		
Ovládací napětí cívky (střídavé ovládání)	380-400	(V/50Hz)
Záběrový příkon cívky při stř. ovládání $\pm 10\%$	140	(VA)
Trvalý příkon cívky při stř. ovládání $\pm 10\%$	23/5,7	(VA/W)

Tabulka 2: Parametry stykače C72

Stykač C72 - 75A - v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU

Pracovní skříň - rozvaděč 1DB32.1
Vývod - kabeláž 1TA21D01

Druh zátěže

Motor VC180L04
Jmenovitý proud $I_n = 42,5A$

Spínaný výkon

Průměrný spínaný výkon $P_p = 22kW$

Četnost spínání

cca 48 sep/rok



Obrázek 28: Stykač C72

Stykač V100E - 100A

Hlavní kontakty		
Jmenovité izolační napětí U_i	660	(V)
Jmenovitý tepelný proud I_{th}	100	(A)
Jmenovitý pracovní proud I_e v AC-1 pro 400 V	100	(A)
Jmenovitý pracovní proud I_e v AC-3 (AC-4) pro 400 V	78 (32)	(A)
Max. výkon spínaného motoru v AC-3 (AC-4)		
220-230V	27	(kW)
380-400 V	46	(kW)
500 V	46	(kW)
660-690 V	37	(kW)
Ovládání		
Ovládací napětí cívky (střídavé ovládání)	380-400	(V/50Hz)
Záběrový příkon cívky při stř. ovládání $\pm 10\%$	208	(VA)
Trvalý příkon cívky při stř. ovládání $\pm 10\%$	37/6,9	(VA/W)

Tabulka 3: Parametry stykače V100E

Stykač V100E - 100A - v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU

Pracovní skříň - rozvaděč	2DA11.1
Vývod - kabeláž	2CA01.3

Druh zátěže

Jmenovitý proud	$I_n = 100A$
-----------------	--------------

Spínaný výkon

Průměrný spínaný výkon	$P_p = 46kW$
------------------------	--------------

Četnost spínání

cca 2 sep/rok



Obrázek 29: Stykač V100E

Stykač C72 - 75A; V100E – 100A; – nový

Uskladnění

v prostorách JDU Sklad náhradních dílů a příslušenství
prostor: temperovaný AB5

Vnější vliv						Charakteristiky požadované pro výběr a instalaci zařízení
Atmosférické podmínky v okolí						
Teplota vzduchu		Relativní vlhkost		Absolutní vlhkost		
°C		%		g/m3		
nejnižší	nejvyšší	nejnižší	nejvyšší	nejnižší	nejvyšší	
5	40	5	95	1	25	Prostory chráněné před atmosférickými vlivy, s regulací teploty

Tabulka 4: AB5 – vnější vlivy

4. 2. Výběr parametrů pro vlastní měření

Při volbě parametrů, které budou východiskem pro určování technického stavu měřených stykačů, muselo být přihlédnuto k možnostem laboratoře. Z těchto důvodů byly vybrány tyto parametry pro měření:

- kvalita a opotřebení hlavních kontaktů, byla zjišťována pomocí odporu kontaktů (proudovodné dráhy), respektive úbytku napětí na nich
- mechanické vlastnosti byly posuzovány z pohledu vlastních časů stykačů a to časů zapínacích a vypínacích
- doplňující měření, pro zjištění stavu hlavních kontaktů, bylo provedeno měření oteplení na hlavních kontaktech

4. 3. Parametry laboratoře pro měření

Pro zhodnocení naměřených hodnot bylo nutné charakterizovat vnější vlivy laboratoře. Podmínky pro měření byly pro věrohodnost pokaždé stejné a to:

- teplota okolí 25°C
- relativní vlhkost do 80%

4. 4. Měření úbytků napětí na proudovodné dráze stykače a oteplení kontaktů

Podle schématu zapojení pro měření úbytků na kontaktech viz příloha 2. byly změřeny úbytky napětí na jednotlivých fázích. Do silových obvodů stykače byl přiveden jmenovitý proud stykače a na jednotlivých pólech stykače se měřily milivoltmetrem úbytky napětí. Každý stykač byl proměřen 3 krát a to v okamžiku sepnutí, zhruba 5minut po zapnutí a po ustálení teploty na kontaktech. U nových stykačů se provedlo čtvrté měření a to po několika opětovných zapnutích stykače, aby došlo k narušení zoxidovaného povrchu na kontaktech. Oteplení kontaktů se měřilo pomocí laboratorního

teploměru po ustálení teploty na proudovodné dráze. Měřicí sonda byla přivedena přímo na kontakty stykače po rozebrání kontaktní dráhy. Všechny naměřené hodnoty jsou v tabulkách 5. a 6.

	C72 - v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU			C72 - nepoužívaný stykač z EDU		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)
Za studena	30	33	50	39	39	44
Cca po 5 minutách	30	38	35	35	33	35
Po ustálení teploty na kontaktech	34	40	42	40	35	42
	Po několika opětovných zapnutí					
Po ustálení teploty na kontaktech	-	-	-	40	35	42
	(°C)			(°C)		
Teplota kontaktů	58	61	57	47	49	49

Tabulka 5: Úbytky napětí na proudovodné dráze + teplota kontaktů na stykači C72

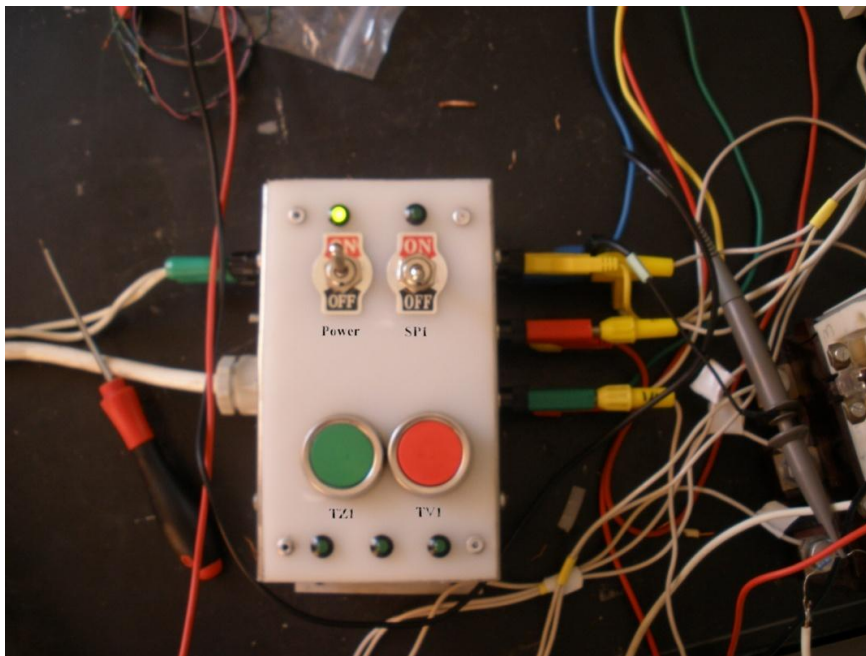
	V100E - v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU			V100E - nepoužívaný stykač z EDU		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)	dU(mV)
Za studena	156	156	160	95	95	60
Cca po 5 minutách	190	117	115	150	140	145
Po ustálení teploty na kontaktech	154	115	125	70	100	55
	Po několika opětovných zapnutí					
Po ustálení teploty na kontaktech	-	-	-	70	65	70
	(°C)			(°C)		
Teplota kontaktů [°C]	55	66	70	43	45	45

Tabulka 6: Úbytky napětí na proudovodné dráze + teplota kontaktů na stykači V100E

4. 5. Měření vlastních časů stykačů

Pro měření vlastních časů byl vytvořen přípravek viz. obr. 30, jehož schéma je viditelné v příloze č. 1. Podle schématu byl připojen k přípravku měřený stykač, kde na jeho svorky byly přivedeny sondy z osciloskopu. CH1 složil jako trimovací kanál, kde po zapnutí, respektive po vypnutí napájecího napětí začal osciloskop trimovat. CH2-4 byly připojeny na hlavní proudovodné dráhy stykače, pomocí nich se zaznamenávaly průběhy napětí na kontaktech. Z těchto průběhů byly poté odečteny vlastní časy stykačů. Společná svorka GND byla propojena na všech kanálech osciloskopu. Pomocí dvoupolohového spínače SP1 se prováděla volba mezi měřením časů při zapínání nebo vypínání. Pokud byl spínač SP1 v poloze vypnuto, byl měřen čas zapnutí. Stiskem tlačítka TZ1 jsou sepnuty oba jeho kontakty, a to jak pro napájení cívky, tak i pro změnu napětí na svorce CH1 vůči

zemi. Změna tohoto napětí má za následek vytvoření spouštěcího impulsu osciloskopu. Po stisknutí tlačítka TV1 jsou naopak kontakty rozpojeny a opět dojde k vytvoření spouštěcího impulsu na osciloskop.



Obrázek 30: Přípravek na měření vlastních časů

Stykač C72 - 75A - nepoužívaný z EDU							
Měření	Doba zapnutí (ms)			Zákmit kontaktu při zapínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Zapínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	45,0	43,0	42,5	6,3	3,0	2,5	1,0
2	31,0	28,5	31,0	5,0	4,0	1,5	3,5
3	37,0	37,0	37,5	9,5	1,0	1,0	1,0
4	33,0	32,5	34,0	6,0	3,0	2,5	4,0
5	35,5	34,0	37,0	8,5	2,5	1,5	4,5
Průměr	36,3	35,0	36,4	7,1	2,7	1,8	2,8

Tabulka 7: Naměřené vlastní časy stykače C72

Stykač C72 - 75A - nepoužívaný z EDU							
Měření	Doba vypnutí (ms)			Zákmit kontaktu při vypínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Vypínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	2,90	2,50	2,40	0,01	0,60	0,30	0,20
2	2,85	2,55	2,50	0,20	0,50	0,28	0,18
3	2,20	2,38	2,20	0,01	0,13	0,42	0,25
4	2,75	2,37	2,18	0,10	0,65	0,30	0,23
5	2,95	2,80	2,53	0,15	0,63	0,52	0,15
Průměr	2,73	2,52	2,36	0,09	0,50	0,36	0,20

Tabulka 8: Naměřené vlastní časy stykače C72

Stykač C72 - 75A - v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU							
Měření	Doba zapnutí (ms)			Zákmit kontaktu při zapínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Zapínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	48,0	46,5	48,0	2,0	2,0	1,0	2,5
2	30,5	31,5	32,0	0,1	1,0	2,0	2,5
3	37,0	36,5	36,5	6,5	1,5	1,5	1,0
4	33,5	34,0	35,0	0,1	1,0	1,5	2,5
5	24,5	25,0	25,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Průměr	34,7	34,7	35,3	1,8	1,2	1,4	1,8

Tabulka 9: Naměřené vlastní časy stykače C72

Stykač C72 - 75A - v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU							
Měření	Doba vypnutí (ms)			Zákmit kontaktu při vypínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Vypínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	0,35	0,38	0,28	0,03	0,02	0,05	0,05
2	0,30	0,28	0,20	0,01	0,05	0,01	0,08
3	0,35	0,30	0,25	0,01	0,01	0,01	0,05
4	0,35	0,35	0,25	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,38	0,38	0,28	0,01	0,01	0,02	0,08
Průměr	0,35	0,34	0,25	0,01	0,02	0,02	0,05

Tabulka 10: Naměřené vlastní časy stykače C72

Stykač V100E - 100A - nepoužívaný z EDU							
Měření	Doba zapnutí (ms)			Zákmit kontaktu při zapínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Zapínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	10,3	9,6	9,9	5,8	3,0	2,1	2,8
2	11,0	10,5	11,3	6,5	2,8	2,0	2,5
3	10,0	10,1	9,5	5,5	2,9	3,0	3,0
4	10,0	10,0	10,1	5,0	2,3	2,3	2,6
5	11,5	10,1	13,4	6,8	2,8	1,4	2,3
Průměr	10,6	10,1	10,8	5,9	2,7	2,2	2,6

Tabulka 11: Naměřené vlastní časy stykače V100E

Stykač V100E - 100A - nepoužívaný z EDU							
Měření	Doba vypnutí (ms)			Zákmit kontaktu při vypínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Vypínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	1,35	1,30	1,55	1,00	0,10	0,65	0,08
2	1,40	1,30	1,60	0,75	0,05	0,40	0,04
3	1,50	1,45	1,65	0,90	0,04	0,70	0,05
4	1,50	1,45	1,70	1,05	0,02	0,35	0,02
5	1,15	1,30	1,55	0,75	0,02	0,90	0,02
Průměr	1,38	1,36	1,61	0,89	0,05	0,60	0,04

Tabulka 12: Naměřené vlastní časy stykače V100E

Stykač V100E - 100A - v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU							
Měření	Doba zapnutí (ms)			Zákmit kontaktu při zapínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Zapínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	4,8	5,2	4,8	0,6	1,8	2,0	1,7
2	8,4	8,7	8,9	0,9	1,3	1,1	1,6
3	5,7	6,0	5,1	0,1	1,8	2,0	1,6
4	6,9	6,7	6,8	0,7	1,9	1,0	1,5
5	4,6	4,7	4,8	0,1	1,9	1,7	1,7
Průměr	6,1	6,3	6,1	0,5	1,7	1,6	1,6

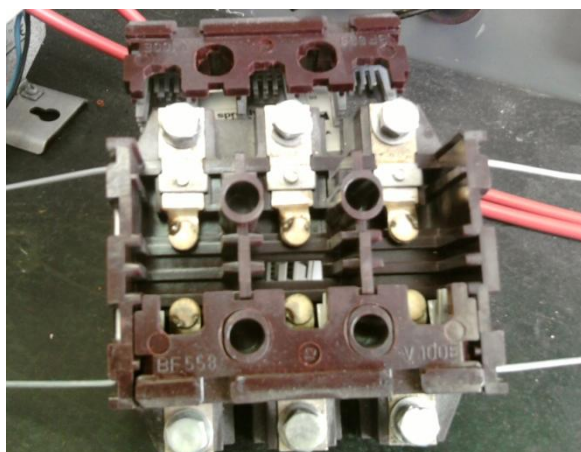
Tabulka 13: Naměřené vlastní časy stykače V100E

Stykač V100E - 100A - v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU							
Měření	Doba vypnutí (ms)			Zákmit kontaktu při vypínání (ms)			
	1. fáze	2. fáze	3. fáze	Vypínacího	1. fáze	2. fáze	3. fáze
1	3,00	2,60	2,70	0,55	0,30	0,10	0,70
2	2,70	2,45	2,00	0,40	0,10	0,10	0,05
3	3,80	3,35	3,30	1,81	0,30	0,08	0,25
4	2,55	2,45	2,45	0,35	0,05	0,05	0,05
5	2,40	2,50	1,95	0,40	0,08	0,20	0,06
Průměr	2,89	2,67	2,48	0,70	0,17	0,11	0,22

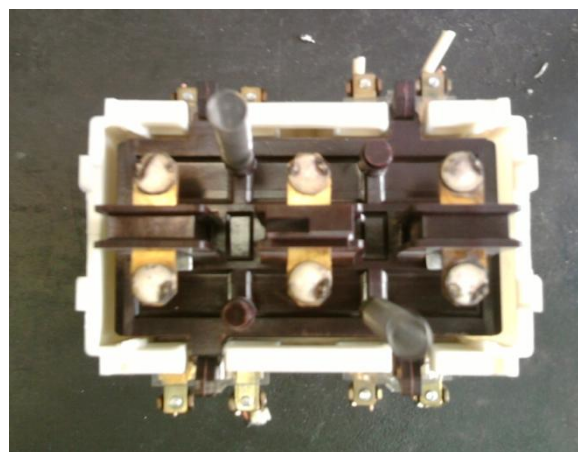
Tabulka 14: Naměřené vlastní časy stykače V100E

4. 6. Teplota kontaktů a jejich vizuální kontrola

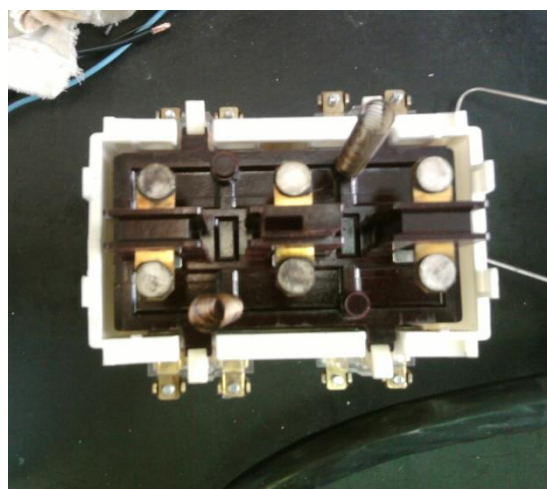
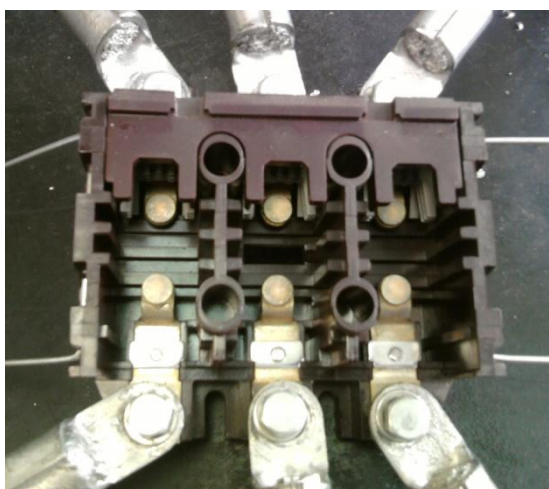
Oteplení kontaktů se měřilo pomocí laboratorního teploměru po ustálení teploty na proudovodné dráze. Měřicí sonda byla přivedena přímo na kontakty stykače, po rozebrání kontaktní dráhy. Všechny naměřené hodnoty jsou v tabulkách 5. a 6. Toto měření bylo pouze informativní, zda nedošlo během provozu k vyhřátí kontaktů na stykači. U stříbrných kontaktů by provozní teplota neměla přesáhnout 70°C při teplotě okolí 35°C.



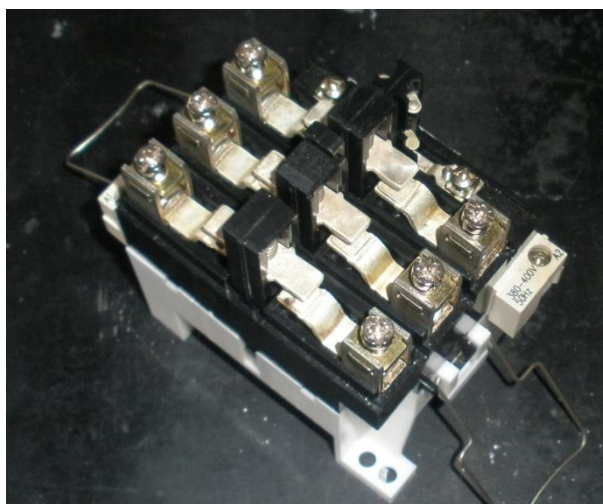
Obrázek 31: Kontakty stykače V100E - v provozu



Obrázek 32: Kontakty stykače V100E - v provozu



Obrázek 33: Kontakty stykače V100E - nepoužívaný **Obrázek 34: Kontakty stykače V100E - nepoužívaný**



Obrázek 35: Kontakty stykače C72

5. Závěr

V rámci diplomové práce jsem se zabýval porovnáním stykačů z Jaderné elektrárny Dukovany. Pro vlastní měření jsem měl k dispozici dva typy 3 fázových stykačů, přičemž z každého typu byl jeden nepoužívaný a druhý byl v provozu.

Pro porovnání jsem si zvolil parametry pro určení spolehlivosti, a to odpor kontaktů, respektive úbytek napětí na nich, nesoučasnost zapnutí/vypnutí jednotlivých fází stykače tzv. vlastní časy stykače a doplňující měření bylo oteplení kontaktů.

Měření úbytků na kontaktech se provedlo na celé proudovodné dráze stykače z důvodu, že nejde umístit měřící hroty přímo na kontakt, za provozu stykače. Tyto hodnoty se liší od úbytků přímo na kontaktech, ale pro srovnání nepoužívaného a používaného stykače byly dostačující. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 a 6. Pro první typ stykače C72 byly rozdíly úbytků napětí na kontaktech rámcově stejné. U nepoužívaného stykače nejmenší úbytky vznikaly na druhém pólu a u používaného v EDU na prvním pólu. Největší úbytky na obou stykačích se projevovaly na třetím pólu. U stykače V100E hodnoty úbytků byly více rozdílné, na prvním a třetím pólu nepoužívaný stykač vykazoval o cca 55% menší úbytek napětí než používaný v EDU. U druhého pólu se rozdíl hodnot pohyboval o cca 15%. Při několika opětovných zapnutích nepoužívaného stykače došlo k narušení zoxidované vrstvy na kontaktech a úbytky na druhém pólu klesly. Rozdíl nyní činil též cca 55%.

Měření vlastních časů stykačů se ověřovalo na čtyř kanálovém osciloskopu, na jeden kanál byla napojena el. cívka stykače a zároveň byl sejmut spouštěcí impuls. Další tři kanály byly napojeny na jednotlivé póly stykače. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 7 – 14. Doba zapnutí a doba zákmitu hlavních kontaktů při zapínání u stykačů C72 byla rozdílná řádově 1ms. U vypínání se tyto hodnoty pohybovaly řádově kolem 0,1ms. Hodnoty stykače V100E u nepoužívaného od používaného EDU při zapínání lišily, nepoužívaný stykač měl dobu zapnutí a zákmitu do 0,7ms a používaný v EDU do 0,2ms. U vypínání se hodnoty u obou stykačů pohybovaly kolem 0,5ms.

Za doplňující měření jsem si zvolil oteplení kontaktů. Toto měření jsem provedl po ustálení teploty na svorkách stykače. Po sejmutí krytu ze stykače byla přiložena měřící sonda na měřený kontakt. U obou typů stykačů byla hodnota teploty u nepoužívaných stykačů průměrně o 10°C nižší než u stykačů, které byly v provozu.

Závěrem pro vyhodnocení výsledků, zda stykače používané v EDU byly již ve fázi dožití nebo stále v období provozu, kde intenzita poruch je minimální z hlediska změřených hodnot a použitých metod zcela nedostatečná. Pro přesnější určení zda stykače jsou schopny dalšího bezporuchového provozu, by bylo zapotřebí více naměřených parametrů, jako je vypínání jmenovité zátěže, měření a sledování opotřebení kontaktů, sledování počtu zapnutí a vypnutí stykače a jiné. Z měřených hodnot se dá pouze posoudit, že stykač V100E, který byl použit v provozu, vykazuje horší vlastnosti než nepoužitý. Ovšem pro výměnu tohoto stykače by bylo nutné zvážit i ekonomickou stránku.

Metoda, která by v provozu určovala, zda je stykač již na konci své životnosti a byla by stoprocentní, neexistuje. Můžeme ale kontrolovat stav stykače za provozu, a to kontrolou,

zda se zvětšuje úbytek napětí na kontaktech, respektive na proudovodné dráze. Jeden z ukazatelů je-li stykač poškozen, je oteplení kontaktů. V provozu by ovšem nebylo vhodné rozebírat kryty stykačů a vkládat měřicí sondy. Jako jediná alternativa by bylo použití termokamery. Opět ale nastává ekonomická úvaha, zda provoz a pořizovací náklady na kontrolu stykačů by nebyly dražší, než pravidelně v určitých intervalech vyměňovat stykače za nové. Dále taky musíme vzít v úvahu, že stykače, které pracují v jaderných elektrárnách nemohou vypovědět svoji funkci při provozu. Ekonomické škody, které by mohly nastat při odstavení elektrárny, jsou mnohem větší, než výměna v plánovaných odstávkách elektrárny.

6. Použitá literatura

- [1] HAVELKA, O. a kol.: Elektrické přístroje
Praha 1985, SNTL/ALFA
- [2] CALABRO, S.R.: Základy spolehlivosti a jejich využití v praxi
Praha 1965, SNTL
- [3] JANOUSEK, I., KOZÁK, J., TABARA, O. a kol.: Technická diagnostika
Praha 1988, SNTL
- [4] HELŠTÝN, D., KAČOR, P., HYTKA, Z.: Elektrické přístroje spínací ochranné a jistící
Ostrava 2003, Regionální centrum celoživotního vzdělávání, VŠB – TU Ostrava
- [5] LEITL, R.: Spolehlivost elektrotechnických systémů
Praha 1990, SNTL, ISBN 80-03-00408-X
- [6] CIGÁNEK, L.: Elektrické přístroje spínací, ochranné a řídící
Praha 1956, SNTL
- [7] BUE, B. K. a kolektiv: Elektrické přístroje - základy teorie
Praha 1977, SNTL
- [8] Zeman, S.: Jističe a stykače
Praha 1963, SNTL
- [9] HAVELKA, O. a kol: Podklady a příklady pro navrhování elektrických přístrojů
Brno 1975, VUT
- [10] ČSN 33 2000-5-51, ed. 2
- [11] <http://www.eia.org>
- [12] <http://elektrika.cz/data/clanky/pms001211/view>
- [13] <http://cs.felk.cvut.cz/~kubatova/WEB/spolehlivostt.htm>
- [14] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektivita %28v%C3%BDzkum%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektivita_%28v%C3%BDzkum%29)
- [15] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektivita %28filozofie%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektivita_%28filozofie%29)

7. Seznam příloh

1. Schéma pro měření vlastních časů
2. Schéma pro měření úbytků napětí
3. Průběhy při zapínání stykače V100E – nepoužívaný z EDU
4. Průběhy při zapínání stykače V100E – v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU
5. Průběhy při vypínání stykače V100E – nepoužívaný z EDU
6. Průběhy při vypínání stykače V100E – v provozu od října 1999 do 2.5. 2008 v EDU
7. Průběhy při zapínání stykače C72 – nepoužívaný z EDU
8. Průběhy při zapínání stykače C72 – v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU
9. Průběhy při vypínání stykače C72 – nepoužívaný z EDU
10. Průběhy při vypínání stykače C72 – v provozu od května 2005 do konce roku 2009 v EDU